ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

Comité de rédaction des Annales.

Rédacteur en chef :

L. GRANDEAU, directeur de la Station agronomique de l'Est.

Secrétaire de la rédaction :

H. GRANDEAU, sous-directeur de la Station agronomique de l'Est, chef des travaux agronomiques de la Faculté des sciences.

U. Gayon, directeur de la Station agronomique de Bordeaux.

Guinon, directeur de la Station agronomique de Châteauroux.

Margottet, directeur de la Station agronomique de Dijon.

Th. Schlœsing, de l'Institut, professeur à l'Institut national agronomique.

E. Risler, directeur de l'Institut national agronomique.

A. Girard, professeur à l'Institut national agronomique.

A. Müntz, professeur à l'Institut national agronomique.

Ed. Henry, professeur à l'École nationale forestière.

P. Fliche, professeur à l'École nationale forestière.

J. Risler, répétiteur à l'Institut national agronomique.

Correspondants des Annales pour l'étranger.

ALLEMAGNE.

L. Ebermayer, professeur à l'Université de Munich.

J. König, directeur de la Station agronomique de Münster.

Fr. Nobbe, directeur de la Station agronomique de Tharand.

Tollens, professeur à l'Université de Göttingen.

ANGLETERRE.

R. Warington, chimiste du laboratoire de Rothamsted.

Ed. Kinch, professeur de chimie agricole au collège royal d'agriculture de Cirencester.

BELGIQUE.

A. Petermann, directeur de la Station agronomique de Gembloux.

CANADA.

Dr O. Trudel, à Ottava.

ÉCOSSE.

T. Jamieson, directeur de la Station agronomique d'Aberdeen.

ESPAGNE ET PORTUGAL.

R. de Luna, professeur de chimie à l'Université de Madrid.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

E. W. Hilgard, professeur à l'Université de Californie.

HOLLANDE.

A. Mayer, directeur de la Station agronomique de Wageningen.

ITALIE.

A. Cossa, professeur de chimie à l'École d'application des ingénieurs, à Turin.

NORWÈGE ET SUÈDE.

Zetterlund, directeur de la Station agronomique d'Orebro.

D^r Al. Alterberg, directeur de la Station agronomique et d'essais de semences de Kalmar.

SUISSE.

E. Schultze, directeur du laboratoire agronomique de l'École polytechnique de Zurich.

RUSSIE.

Thoms, directeur de la Station agronomique de Riga.

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales (*chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.*).

Toutes les communications relatives à la rédaction des Annales (*manuscrits, mémoires, livres*) *doivent être adressées* franco *à M.* **H. Grandeau**, *secrétaire de la rédaction des* Annales, *à Nancy.*

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture

PAR

LOUIS GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
DOYEN HONORAIRE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY
PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE FORESTIÈRE

CINQUIÈME ANNÉE — 1888
Tome I

Avec figures dans le texte et 27 planches lithographiées.

PARIS
BERGER-LEVRAULT ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS
5, rue des Beaux-Arts
MÊME MAISON A NANCY

1888

LA FERTILISATION DES CHAMPS

PAR LA

DÉSINFECTION DES VILLES[1]

SYSTÈME GUILLAUME

POUR LE TRAITEMENT DES ENGRAIS ORGANIQUES

1° Les exigences des récoltes et les ressources de la France en engrais de ferme.

Aucun agronome ne doute aujourd'hui que le facteur principal de la fertilité des terres ne réside dans les aliments qu'elles offrent à la plante. L'idée du sol-support ne jouant de rôle qu'en raison de ses propriétés physiques, indépendamment de sa nature chimique, a fait son temps. L'expérience du demi-siècle écoulé depuis l'assertion magistralement développée par Liebig, « que la nature minérale offre aux plantes leur source exclusive d'alimentation », a mis hors de conteste l'influence de l'acide phosphorique, de l'azote ammoniacal et nitrique, de la potasse, etc., sur le développement des récoltes. Une quantité minima de chacun des éléments chimiques qui constituent les végétaux est indispensable à l'obtention de rendements élevés, et l'engrais complémentaire du fumier de ferme est devenu, dans les pays en culture depuis un temps immémorial, la

---

1. J'emprunte ce titre à un agriculteur, publiciste distingué, M. A. Couteaux, qui a très heureusement résumé en ces termes le résultat auquel contribuerait largement l'application du système Guillaume pour le traitement des matières de vidanges.

L. Gr.

base indispensable du maintien et de l'accroissement de la fécondité du sol.

Le fumier de ferme, mélange des résidus de l'alimentation du bétail et des végétaux qui servent de litière à ce dernier, est une source absolument insuffisante de restitution des matières enlevées par les récoltes.

Si bien aménagés et utilisés qu'on les suppose, chose trop rare encore dans nos campagnes, les fumiers produits annuellement sont beaucoup trop peu abondants pour l'entretien des surfaces cultivées.

Quelques chiffres relatifs à la France vont le prouver.

Si on laisse de côté les forêts, les vignes, les cultures arbustives et maraîchères, la surface cultivée du territoire français s'élève, en nombre rond, à 24 millions d'hectares, répartis comme suit :

Nature des cultures.	HECTARES.
Céréales	14 772 000
Pommes de terre et betteraves fourragères	1 750 000
Prairies naturelles	5 000 000
— artificielles	2 304 000
Plantes industrielles	436 500
Total	24 262 500

Prenant pour base du calcul d'épuisement du sol une bonne récolte moyenne comme celle de 1882, au sujet de laquelle le remarquable rapport de M. E. Tisserand nous a fourni de précieux renseignements[1], j'ai trouvé que les récoltes obtenues sur ces 24 millions d'hectares renfermaient, en nombres ronds, les quantités suivantes d'azote, d'acide phosphorique et de potasse :

	TONNES MÉTRIQUES.
Azote	600 000
Acide phosphorique	300 000
Potasse	755 000

Telles sont, approximativement, les masses énormes de principes fertilisants contenus dans une récolte annuelle du sol français.

---

1. *Statistique agricole de la France.* Résultats généraux de l'enquête décennale de 1882. In-4° avec atlas. Berger-Levrault et Cie. 1887.

Les exigences des diverses cultures, en chacun de ces trois aliments des végétaux, sont très différentes ; mais, pour donner une mesure simple de l'importance numérique de ces prélèvements, je supposerai un instant qu'ils s'effectuent également pour chaque hectare de terre en culture.

En divisant par 24 millions, les poids d'azote, d'acide phosphorique et de potasse contenus dans une récolte, on trouve que le prélèvement moyen, par hectare, s'élèverait aux chiffres suivants :

Azote	25^{kg},0
Acide phosphorique.	12 ,5
Potasse	31 ,4

Cette indication, il est inutile d'y insister, n'a qu'une valeur démonstrative générale : elle ne répond pas à la réalité des choses, puisque la nature des récoltes, le choix des assolements, la durée de séjour des végétaux dans le sol, variable de six mois à dix-huit mois, deux ans et plus, suivant les cas, modifient sensiblement la quotité des prélèvements d'aliments imposée, par chaque variété de culture, au sol qui la porte. Mais telle qu'elle est, cette répartition arithmétique a l'avantage de se prêter à une comparaison facile, entre les exigences de la culture et les moyens de restitution dont nous disposons.

Le bétail français représenté, en 1882, par 49 millions et demi de têtes, s'élevant ensemble, en poids vif, à 6 240 000 tonnes, a fourni, d'après les relevés de M. E. Tisserand, 84 millions de tonnes de fumier, ce qui correspond à un peu moins de 13 tonnes et demie par 1 000 kilogr. de poids vif.

La composition du fumier varie beaucoup, comme on le sait, avec la richesse de l'alimentation, la nature des litières, le mode de traitement et les moyens de conservation. Mais, comme il s'agit, ici, d'une évaluation moyenne de la valeur fertilisante du fumier de tout un pays, je prendrai pour base de mon calcul la teneur en azote, acide phosphorique et potasse du fumier frais de richesse moyenne : soit, pour 1 000 kilogr. de fumier :

Azote.	3^{kg},900
Acide phosphorique	1 ,800
Potasse.	4 ,500

Appliquée à une production annuelle de 84 millions de tonnes de fumier de ferme, cette teneur correspond aux poids suivants de chacun des principes fertilisants :

	TONNES MÉTRIQUES.
Azote	327 600
Acide phosphorique	151 200
Potasse	378 000

Telles sont les quantités maxima des trois agents, par excellence, de la végétation, que le fumier de ferme produit en France permettrait de restituer annuellement au sol.

Comparée à la richesse des récoltes, la teneur du fumier présente un déficit considérable, qu'il n'est pas sans intérêt de préciser. Si nous distrayons des 24 millions d'hectares cultivés les 2 millions d'hectares de prairies artificielles, il nous reste 22 millions d'hectares, entre lesquels une répartition supposée égale des 84 millions de tonnes de fumier, représenterait 3 800 kilogr. à l'hectare et par an, soit, dans le cas de l'assolement triennal, 11 400 kilogr. tous les trois ans! Or, la quote-part de fumure de chaque hectare du sol français est loin d'être égale à ce chiffre si maigre déjà. Qui ne sait que dans les exploitations à culture intensive ou seulement moyennement entretenues, c'est 15 000 à 20 000 kilogr. de fumier que reçoit au moins, par année, un hectare de terre? La moyenne de la fumure, pour tous les autres terrains, se trouve donc abaissée sensiblement, et il ne serait pas difficile de citer des régions entières où l'emploi du fumier est presque totalement inconnu. Comment s'étonner alors des rendements de 4 à 7 hectolitres de blé à l'hectare, sur des étendues malheureusement trop considérables encore en France!

A cette cause d'inégalité dans la répartition du fumier de ferme, viennent s'ajouter d'autres raisons qui font que les cultivateurs français ne peuvent même pas compter, pour leurs terres, sur les 84 millions de tonnes dont la statistique constate la production. Au premier rang se place l'absence, trop fréquente encore dans nos campagnes, de soins dans la récolte, l'entretien et la conservation du fumier de ferme. Exposé pour la plupart du temps aux intempéries,

à la pluie battante ou au soleil ardent, le fumier perd, par là, une partie notable de sa valeur fertilisante. De plus, les liquides qui s'en échappent s'en vont bien souvent infecter les puits de nos communes au lieu de féconder le sol, faute de dispositions convenables pour recueillir le purin des étables et des places à fumier. Enfin, une part notable du fumier produit et compté dans le chiffre rappelé plus haut, n'est pas utilisé par les agriculteurs proprement dits, mais employé pour les cultures maraîchères qui avoisinent les villes, ne figurant pas dans le décompte des hectares en culture qui nous occupe.

Eh bien ! supposons, pour un moment, qu'aucune de ces causes n'existe ; admettons que la totalité du fumier de ferme est restituée, sans perte, aux sols en culture : un calcul très simple montre que cette restitution serait encore tout à fait insuffisante. En effet, les récoltes de 1882 ont emporté de nos champs :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	—	—	—
En tonnes métriques.	600 000	300 000	775 300
Le fumier produit contient.	327 600	151 200	378 000
D'où un déficit de	272 400	148 800	397 300

Ce qui représente, à l'hectare moyen, les quantités suivantes :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	—	—	—
Dans la récolte d'un hectare	25^{kg},00	12^{kg},50	31^{kg},41
Dans le fumier correspondant à un hectare. .	13 ,65	6 ,30	19 ,91
Déficit par hectares . . .	11^{kg},35	6^{kg},20	11^{kg},49

soit, en nombre rond, pour chacune des trois substances, un déficit de 50 p. 100 environ.

Il faut noter en passant qu'une partie de l'azote des récoltes vient de l'ammoniaque aérienne, ce qui atténue l'épuisement de la terre dû à la récolte. Mais il n'est pas possible de fixer numériquement la part qui revient à l'ammoniaque dans l'alimentation des végétaux.

Les belles recherches de M. Th. Schlœsing ont montré qu'elle doit être très considérable, au moins pour les végétaux à grande surface

foliacée[1]. Ce qui est certain, c'est que les pâturages et les forêts, qui ne reçoivent jamais d'engrais, n'ont pas d'autre source directe d'azote que l'ammoniaque aérienne.

La conclusion qui ressort de cette vue d'ensemble, sur l'épuisement par les récoltes et la restitution par la fumure, est que le sol et l'atmosphère doivent fournir, *chaque année* et sans interruption, *un tiers* au minimum des aliments nécessaires à la végétation. Dans les terrains riches, qui sont d'ailleurs beaucoup plus fumés que la moyenne générale de convention qui a servi de base à mon calcul, la fertilité peut se maintenir à la rigueur. Mais ces terrains sont loin d'être les plus nombreux et l'on voit que, forcément réduite à l'emploi du fumier de ferme, non seulement l'agriculture française, considérée dans son ensemble, serait dans l'impossibilité, à tout jamais, d'accroître ses rendements, mais aurait grande chance de voir diminuer la fécondité des sols qu'elle exploite.

Que sont donc devenues ces masses énormes d'azote, de phosphate et de potasse absorbées par les végétaux et que nous ne retrouvons plus dans le fumier de ferme? Elles ont servi en partie, sous forme de viande, de lait, de pain, de légumes, etc., à nourrir la population de la France qui, malheureusement pour elle, dans l'intérêt de la santé publique autant que pour l'accroissement de la fécondité de son sol, n'a pas su jusqu'ici imiter la Chine et le Japon et pratiquer une restitution complète à la terre. Nous empestons le sous-sol de nos centres de population, nos rivières et nos cours d'eau ; nous laissons s'organiser des foyers d'infection, dont les épidémies nous révèlent parfois si cruellement le danger, et notre sol va s'appauvrissant ou, tout au moins, ne voit pas s'accroître sa fécondité, source première de richesse pour l'agriculture !

Il est facile de se faire une idée approchée des pertes qui résultent de l'incurie des populations à l'endroit de l'utilisation des résidus de l'alimentation humaine. La population de la France est, en nombre rond, de 38 millions d'habitants (recensement de 1886).

En grande moyenne, on peut admettre que chaque individu

---

1. Voir *Chimie et physiologie appliquées à l'agriculture*, 1er volume. Berger-Levrault et Cie.

adulte élimine, par année, les quantités suivantes des trois éléments auxquels nous nous sommes attachés jusqu'ici :

Azote	5kg,400
Acide phosphorique	1 ,150
Potasse	1 ,000

ce qui correspond à une valeur d'environ 10 fr. par tête et par an. Les individus âgés de moins de 15 ans ne représentant, en France, que 27 p. 100 de la population totale, nous serons proche de la réalité en basant le calcul de la production totale d'azote, acide phosphorique et potasse, sur les chiffres ci-dessus, rapportés aux cinq sixièmes de la population totale. Nous trouvons ainsi que les résidus de l'alimentation humaine en France représentent, au minimum, les valeurs suivantes pour 30 millions d'individus (5/6 de la population totale, enfants compris) :

	KILOGR.
Azote des déjections	162 000 000
Acide phosphorique id.	34 000 000
Potasse id.	30 000 000

Restituées à nos 24 millions d'hectares en culture, ces quantités correspondraient, à l'hectare, à 6kg,75 d'azote, 1kg,410 d'acide phosphorique et 1kg,250 de potasse ; elles ne couvriraient pas encore le déficit que nous avons constaté, mais elles l'atténueraient dans le rapport de plus de 50 p. 100 pour l'azote et de 25 p. 100 pour l'acide phosphorique, substances qui sont, de beaucoup, plus importantes que la potasse au point de vue de la restitution, peu de sols français exigeant l'apport direct de potasse pour le maintien de leur fertilité.

2° La question des vidanges à la commission d'assainissement de Paris, en 1880. — Le rapport de M. Aimé Girard.

De cette évaluation approximative de l'épuisement du sol par les récoltes, d'une part, et des ressources que l'alimentation des hommes et des animaux pourrait mettre à la disposition des cultivateurs [1], de l'autre, résulte la démonstration d'une situation profon-

1. J'ai laissé de côté la valeur des purins si mal récoltés en France et dont l'inutilisation constitue un déficit si considérable pour la fertilisation de nos champs.

dément regrettable. Notre pays, par une récolte convenable des déjections de la population humaine et animale qu'il nourrit, pourrait accroître dans une large mesure les rendements de son sol. L'incurie qui préside à cette récolte nous oblige à recourir aux engrais commerciaux; elle nous rend tributaires du Nouveau Monde pour la fumure azotée de nos champs, entraîne de grandes dépenses pour l'achat de nitrates et de phosphates, tandis que nous empoisonnons le sous-sol de nos villes et les cours d'eau qui servent à notre alimentation, en y accumulant des matières dont l'emploi direct, par l'agriculture, nous permettrait d'élever les rendements de la terre à des chiffres très largement rémunérateurs.

Laissant de côté la production du fumier, la récolte des excréments liquides des animaux et leur emploi, je me propose d'examiner ici le traitement des déjections humaines et leur utilisation en agriculture.

Dans les grands centres de population, la solution de la question des vidanges s'impose, de plus en plus, au double point de vue de la santé publique et des intérêts de l'agriculture. Au milieu des progrès merveilleux dont le siècle actuel est le témoin, on peut dire, sans être taxé d'exagération, que l'hygiène publique et privée, au point de vue qui nous occupe, est demeurée dans un état voisin de la barbarie, malgré les efforts considérables, mais tout à fait insuffisants, jusqu'à ce jour, des savants et des municipalités pour assurer la salubrité de nos cités. Tandis qu'on a multiplié, pour ainsi dire à l'infini, les moyens d'approvisionnement des villes en denrées alimentaires, par la création de voies ferrées, de canaux, de docks, etc., on n'a, en quelque sorte, rien fait jusqu'à présent pour l'évacuation des résidus de l'alimentation, contre-partie inévitable de l'approvisionnement en vivres. Les graves et difficiles problèmes que soulève cette élimination, dès qu'il s'agit d'une population agglomérée tant soit peu élevée, expliquent, sans l'excuser, l'état de choses actuel.

L'objet de cette étude n'est point d'aborder dans son ensemble l'examen de la situation présente et les moyens d'y remédier; je ne m'occuperai pas ici du *tout à l'égout*, dont je suis l'adversaire pour toutes les grandes villes qui ne disposent pas de surfaces irrigables

suffisantes pour une véritable utilisation agricole des produits ainsi dilués. On ne saurait méconnaître d'ailleurs que les admirables découvertes de M. Pasteur conduisent aujourd'hui à apporter la plus grande circonspection à l'endroit de l'application de ce système.

Je ne discuterai pas davantage les projets d'un canal allant à la mer pour assainir Paris ; mon but, beaucoup plus modeste, est de faire connaître un procédé de traitement des matières fécales qui, prenant les choses dans l'état où elles sont, offre le moyen certain d'améliorer très notablement la situation, dans toutes les villes, en attendant la solution générale de leur assainissement.

A l'heure qu'il est, d'un côté, la plus grande partie des matières fécales est perdue pour l'agriculture ; de l'autre, lorsqu'il est pratiqué, le traitement des vidanges est, à lui seul, une cause d'infection par les émanations fétides et nocives qui l'accompagnent. La fabrication de l'engrais connu sous le nom de poudrette consiste essentiellement dans la dessiccation, par des procédés plus ou moins primitifs, et toujours *à l'air libre,* des matières solides extraites des fosses d'aisance. Les établissements les mieux outillés ont, tout au plus, une disposition permettant la combustion incomplète des gaz qui se dégagent pendant la dessiccation des matières *vertes,* lorsque celle-ci s'effectue à l'aide de la chaleur. Les dépotoirs où s'accumulent, aux abords de Paris, ces détritus infects et le mauvais outillage des usines qui les traitent, sont une cause d'empoisonnement de l'air sur laquelle il est inutile d'insister, tout le monde étant d'accord sur l'insalubrité de ce voisinage et sur les dangers que présente cette industrie pour la santé publique.

Sur le remarquable rapport présenté par M. A. Girard, professeur au Conservatoire des arts et métiers, à l'une de ses sous-commissions, la Commission de l'assainissement de Paris[1] a adopté à l'unanimité des conclusions qui, malgré l'amélioration énorme que réaliserait leur application aux vidanges de la ville de Paris, sont, depuis *huit ans,* demeurées lettre morte.

Le système imaginé par M. Guillaume rendant désormais applicables, dans tous les centres de population, les prescriptions du rap-

1. In-4°, imprimerie nationale, 1881, p. 145 et suiv.

port de M. A. Girard, je crois utile avant de l'exposer de rappeler textuellement les conclusions adoptées par la commission de 1880, dont nos législateurs paraissent avoir complètement oublié les remarquables études dans la discussion du projet de loi du *tout à l'égout,* récemment voté par la Chambre des députés.

Voici les conclusions de la commission :

1° Les dépotoirs à l'air libre, y compris le dépotoir municipal de Bondy, doivent être absolument supprimés, et le stock de matières accumulées dans ce dernier établissement transformé en engrais sec à bref délai:

2° Tout dépôt et toute manipulation en plein air des matières de vidanges, soit solides, soit liquides, doivent être rigoureusement interdits.

3° Le dépôt et le traitement des matières de vidanges ne devront dorénavant avoir lieu que dans les usines soumises aux conditions ci-après indiquées.

4° L'approvisionnement de ces usines ne devra jamais dépasser les quantités nécessaires au travail de quatre journées de 24 heures.

5° Toutes les capacités dans lesquelles les matières de vidanges seront emmagasinées ou traitées doivent être closes hermétiquement au moyen de parois métalliques. Les ateliers dans lesquels ces matières ou leurs dérivés odorants peuvent être exposés au contact de l'air doivent être clos et couverts en matériaux étanches, et ne comporter que deux ouvertures permanentes : l'une pour l'entrée de l'air extérieur, l'autre pour la sortie de l'air contaminé.

6° Chacune de ces capacités et appareils, comme aussi les ateliers dans lesquels les matières ou leurs dérivés odorants peuvent être exposés au contact de l'air, doivent être, au moyen de conduites étanches, mis en communication avec des appareils d'appel, mécaniques ou autres, dont la marche est calculée de telle façon que les gaz ou buées dégagés dans la capacité, l'appareil ou l'atelier ne puissent se répandre dans l'atmosphère.

7° Le traitement des matières de vidanges, dans l'état actuel de la science industrielle, doit comprendre, ou bien la dessiccation rapide de toutes les matières d'arrivage, au moyen de la chaleur artificielle, ou bien la transformation des matières liquides en sels ammoniacaux par distillation en présence de la chaux et la dessiccation des matières pâteuses dans les mêmes conditions que ci-dessus : tout autre procédé qui pourrait être proposé devra, avant d'être employé, être soumis à un examen préalable de la part de l'administration supérieure.

8° Les matières d'arrivage ou les matières pâteuses, si elles sont portées directement à la dessiccation doivent, avant de subir cette opération,

être additionnées d'une quantité d'agents désinfectants suffisante pour fixer à la fois l'hydrogène sulfuré et les sels ammoniacaux volatils à 100°.

9° Toute circulation d'une capacité à l'autre doit avoir lieu par des conduites fermées.

10° Les gaz et les buées, soit directement, soit après avoir été soumis à tel procédé de désinfection ou de combustion que les manufacturiers jugeront à propos d'employer, doivent être définitivement amenés par propulsion dans un appareil de combustion spécial, indépendant des foyers des générateurs et de la cheminée de l'usine. Les gaz ou buées doivent s'échapper de cet appareil de combustion par un carneau dont le débouché soit facile à atteindre. Ces gaz ou buées ne doivent, après avoir traversé l'appareil de combustion, posséder aucune odeur.

11° Les eaux de condensation des buées, les eaux résiduaires des colonnes de distillation et les liquides analogues ne doivent être émis hors de l'usine qu'après avoir été désinfectés et refroidis à 30 degrés centigrades.

12° Des appareils enregistreurs indiqueront automatiquement la marche des appareils d'appel et la température des gaz à la sortie de l'appareil de combustion; des regards seront disposés sur toutes les conduites et capacités de l'usine.

Quand on voudra sérieusement aborder, au Parlement et dans les sphères administratives, la grave question de l'assainissement de Paris, il faudra commencer par faire appliquer rigoureusement les prescriptions inscrites dans les conclusions qu'on vient de lire. En effet, il s'écoulera bien du temps avant qu'un système de canaux quelconque, égouts ou canalisation close, permette de porter automatiquement au dehors de Paris les vidanges déversées journellement par 230 000 tuyaux de chute dans les fosses, tinettes ou égouts de la capitale.

En attendant que le problème soit résolu, la première chose à faire serait, à notre avis, d'encourager et au besoin d'imposer un système de traitement des vidanges qui donne satisfaction aux hygiénistes et fasse cesser l'infection de la banlieue par les dépotoirs et les fabriques actuelles de poudrette.

Une étude attentive du procédé Guillaume, dont j'ai suivi les essais depuis quatre années, m'a convaincu de la possibilité de voir promptement se réaliser cette immense amélioration, en livrant à bon marché à l'agriculture une matière fertilisante de premier

ordre. Je crois être utile en le faisant connaître, par l'intermédiaire de nos *Annales,* aux agriculteurs et aux hygiénistes.

Pour apprécier la valeur du système imaginé par M. Guillaume et qui fonctionne depuis cinq années, industriellement, bien que sur une échelle trop restreinte, vu son importance hygiénique et agricole[1], il est nécessaire d'avoir une idée exacte des procédés aujourd'hui en usage pour la fabrication de la poudrette.

En dehors des matières qui tombent directement à l'égout et qui, après un séjour variable de 8 jours à *3 semaines* (*!*) dans les canaux souterrains de la capitale, vont empoisonner la Seine, on conduit tous les matins dans les dépotoirs de la banlieue 2 500 à 3 000 mètres cubes de vidanges ! Voici la description que donne le rapporteur du traitement de ces matières en 1880 ; je puis ajouter que rien n'est changé depuis cette époque et j'ai pu vérifier, sur place, la parfaite exactitude des constatations de mon savant ami, M. A. Girard ; je ne saurais mieux faire connaître l'état de cette industrie qu'en lui laissant la parole :

Les matières liquides extraites des fosses fixes à l'aide de pompes sont envoyées aux usines. Les matières pâteuses, fonds de fosses ou rachèvements, fosses mobiles, diviseurs, etc..., sont, pour la plus grande partie, portées aux dépotoirs à l'air libre.

Suivons les unes et les autres dans ces établissements et tout d'abord occupons-nous des dépotoirs à l'air libre. Le spectacle qu'ils nous offriront est repoussant ; à l'arrivée au dépotoir, dans un atelier généralement en planches, largement ouvert, quelquefois sous un simple hangar, les tonneaux d'arrivage sont débondés. Si la matière est suffisamment liquide, elle tombe et coule à travers une grille vers le bassin qui doit la recevoir. Souvent cet écoulement est difficile, l'ouvrier s'aide d'un crochet, quelquefois de la main ; autour de lui se répand une odeur fétide nauséabonde où le sulfhydrate d'ammoniaque prédomine. Reçues dans des bassins, quelquefois d'assez grande superficie, d'autrefois, au contraire, longs, étroits et fermés par des murs en terre absorbante, ces matières sont abandonnées au contact de l'air, dégageant librement sous l'influence de la chaleur, etc., des dépressions atmosphériques, une odeur abominable qui, pour peu que l'établissement soit étendu, se répand à de grandes distances.

---

1. Usine d'Aubervilliers, rue des Gardinoux.

Peu à peu, avec le temps, l'état de la matière se modifie ; à la surface remonte, poussé par les gaz de la fermentation, une sorte de chapeau auquel, en langage du métier, on donne le nom de ciel, tandis qu'au-dessus de ce chapeau, la grande masse se décante, abandonnant un dépôt pâteux au-dessus duquel, interposée entre le ciel et le dépôt lui-même, s'étend une couche plus ou moins épaisse d'eau infecte. Puis, lorsque la séparation est complète, le ciel est enlevé, mis au séchage et l'eau surnageant le dépôt évacuée par une saignée faite au bassin. Cette eau, chargée en sels ammoniacaux, on s'efforce de la vendre aux cultivateurs voisins; mais quand ils la refusent, ou quand la quantité en est excessive, il faut la laisser écouler sur les terres voisines, à travers les fossés, etc. Quand enfin, sur le fond du bassin, la matière a pris une densité suffisante, on l'enlève à la bèche, on l'étale sur le sol et là, on la laisse sécher. Mais la dessiccation en est difficile et, fréquemment, il la faut ouvrir à la bêche, à la charrue quelquefois, de manière à renouveler les surfaces d'où doivent se dégager l'eau d'une part, les produits odorants de l'autre.

Lorsqu'enfin la dessiccation est complète, que la matière est devenue pulvérulente, c'est un engrais commercial, c'est de la poudrette.

Le procédé que nous venons de décrire a été longtemps le seul employé pour le traitement des matières de vidanges. Il est inutile d'insister sur ce qu'il présente d'odieux et de barbare. Ce serait cependant le seul en pratique aujourd'hui encore si l'initiative privée, si l'industrie n'avaient cherché à y introduire les modifications dont, depuis longtemps, les administrations, les municipalités auraient dû poursuivre la réalisation. Insuffisantes encore, ces modifications n'en constituent pas moins, malgré leur imperfection très réelle, une amélioration très sensible sur l'ancien état de choses. Ces modifications, ce sont celles qui ont résulté du développement donné à la fabrication du sulfate d'ammoniaque. A ce développement correspond, en effet, la création d'usines importantes dont la surveillance est plus facile, dont les procédés sont moins grossiers et peuvent être perfectionnés de telle façon que leur mise en pratique fasse disparaître toutes les incommodités qui, actuellement encore, sont attachées à la transformation des matières de vidanges en engrais.

Parmi ces usines, dont le nombre aux environs de Paris, en y comprenant l'établissement de Bondy, est de dix, dont quatre appartiennent à la *Compagnie Lesage*, une à la *Compagnie parisienne*, une à la *Compagnie urbaine*, les trois autres à différents industriels, il en faut distinguer de deux sortes : sept d'entre elles, recevant directement les matières extraites des fosses fixes par la pompe, se proposent, d'une part, de transformer les liquides en sulfate d'ammoniaque par la distillation et la saturation au moyen de l'acide sulfurique ; d'une autre, de dessécher les dé-

pôts laissés par ces liquides au moyen de la chaleur artificielle, après les avoir, en général, acidifiés, de manière à en faire une poudrette riche. Les trois autres établissements, ne recevant pas directement les matières, doivent borner leurs opérations à la fabrication du sulfate d'ammoniaque.

Conduites dans des bassins de dépôt qui doivent être clos et couverts, mais qui le sont souvent d'une façon imparfaite, les matières infectes qu'ont amenées les bateaux ou les tonnes sont abandonnées au repos : puis, lorsqu'elles ont été ainsi éclaircies, passées dans de grandes colonnes en fonte chauffées à la vapeur. Dans ces colonnes s'élèvent, de plateau en plateau, les composés ammoniacaux volatils qui, se concentrant peu à peu, viennent enfin au sommet de l'appareil s'échapper n'emportant plus avec eux qu'une petite quantité d'eau pure, pour, de là, se présenter à l'action de l'acide sulfurique qui doit les transformer en sulfate.

Du fait de cette saturation se dégagent alors des composés volatils et odorants que le manufacturier doit absolument détruire, en obligeant les gaz qui s'échappent des bacs de saturation à traverser les foyers destinés au chauffage des générateurs de l'usine. C'est là, comme nous le verrons tout à l'heure, une opération qui présente des difficultés particulières, et l'on voit trop souvent, soit par suite de ces difficultés, soit à cause de la négligence du manufacturier, ces produits odorants s'échapper au sommet de la cheminée de l'usine et aller quelquefois à de grandes distances causer une incommodité grave.

Des colonnes enfin s'écoulent, après avoir abandonné les sels ammoniacaux qu'ils contenaient, les liquides qui, de haut en bas, les ont traversées en s'échauffant peu à peu. Infectées par suite du dégagement d'un grand nombre de produits volatils encore, ces eaux ne peuvent être évacuées qu'après avoir été refroidies : c'est à quoi l'on parvient dans les usines qui ne reçoivent que des eaux claires provenant de dépotoirs voisins, en les laissant refroidir dans des citernes closes : c'est à quoi l'on parvient dans les usines qui reçoivent la matière tout venant, en utilisant la chaleur que ces eaux résiduaires emportent pour le séchage des matières pâteuses.

Étalées sur des plaques de fonte au-dessus desquelles ces eaux chaudes circulent en un courant continu, les matières pâteuses que l'on a préalablement acidifiées vont se desséchant peu à peu et dégageant, comme les liquides des bacs de saturation, des vapeurs acides et infectes qui, elles aussi, doivent aller dans les foyers des générateurs s'offrir à la combustion; mais qui, par suite de l'imperfection des appareils employés, n'y parviennent que rarement.

Tel était, en 1880, le régime des matières de vidanges à Paris, tel il est encore aujourd'hui.

On conçoit, d'après la description qui précède, combien sont fondées les plaintes de la population qui avoisine ces centres d'infection et combien, aussi, sont justifiées les conclusions de la commission rapportées plus haut.

On comprendra l'importance du système imaginé par M. Guillaume, système appliqué dès aujourd'hui au traitement des matières solides, applicable également à la distillation des liquides pour en extraire l'ammoniaque, quand j'aurai dit qu'il supprime *tout contact avec l'atmosphère des matières premières, et des produits solides, liquides et gazeux*, non désinfectés auxquels donne naissance leur transformation en poudrette et en sulfate d'ammoniaque, depuis l'arrivée des vidanges à l'usine jusqu'à la sortie des engrais obtenus.

C'est une application industrielle complète du principe du travail en vases clos, recommandé par H. Sainte-Claire Deville, en 1880, dans une note publiée dans les comptes rendus de l'Académie et adressée à la même époque au ministre de l'agriculture et du commerce. Encouragé par les conseils et l'appui de H. Sainte-Claire Deville, l'ingénieux inventeur de ce système a résolu pratiquement et économiquement le problème du traitement salubre des vidanges.

C'est ce principe dont M. A. Girard proposait l'application, en mai 1879, dans un rapport fait au comité consultatif des arts et manufactures, au sujet de l'usine de Nanterre.

C'est en un mot le principe du travail en vases clos, avec appel des gaz au moyen d'appareils mécaniques et propulsion dans un foyer spécial, indépendant de la cheminée de l'usine, dont M. A. Girard a fait, dès 1880, décider l'application dans son intégrité, comme conclusion à son rapport à la commission d'assainissement de Paris.

Avant d'exposer avec quelques détails l'invention de M. Guillaume et les résultats obtenus depuis plusieurs années par le fonctionnement de ses appareils, je ferai un dernier emprunt au remarquable rapport de M. A. Girard pour indiquer d'une façon précise la position du problème résolu industriellement à l'usine de la rue des Gardinoux :

De l'exposé qui précède, dit M. A. Girard en terminant, il résulte que pour assurer l'inocuité absolue des usines qui manipulent les matières

de vidanges, trois conditions principales sont nécessaires : l'une réside dans l'emploi de réservoirs et appareils métalliques et la liquidation rapide des produits d'arrivage qui en est la conséquence ; l'autre dans l'emploi au cours du travail même d'agents capables de déterminer la désinfection des matières pâteuses et des eaux résiduaires ; l'autre, enfin, dans l'enlèvement par ventilation artificielle des gaz et vapeurs odorants, enlèvement suivi d'une combustion dans un foyer spécial.

De ces trois conditions, la première et la troisième ne peuvent être remplies que d'après un seul principe (travail en vase clos) : la seconde peut l'être en suivant divers procédés et, sur ce point, il convient, je crois, de laisser au manufacturier toute liberté : c'est le travail industriel lui-même, en effet, que vise cette condition.

Nous allons voir maintenant comment le système Guillaume arrive à remplir intégralement le programme tracé par M. A. Girard et rend possible, dans des conditions véritablement économiques et rémunératrices, le traitement des vidanges des villes, qu'il s'agisse d'une immense agglomération comme Paris, Lyon ou Marseille ou de plus petits centres de population.

3° Traitement des engrais organiques (système Guillaume). Appareils, installation, fonctionnement de l'usine.

En jetant un coup d'œil sur la planche I, qui représente, en élévation, les dispositions d'un appareil complet de traitement des vidanges par le procédé Guillaume, on sera tout d'abord frappé de l'absence de cheminée. C'est qu'en effet, l'inventeur a résolu le problème posé dans le rapport de M. A. Girard de la façon la plus complète : il arrive à dessécher, en vases hermétiquement clos, des matières infectes, sans déverser dans l'atmosphère *aucune quantité* de gaz, pas même, ce qui pourrait paraître singulier au premier abord, ceux du foyer destiné à produire la chaleur nécessaire à la dessiccation.

L'usine d'Aubervilliers ne compte qu'une seule cheminée, tout à fait indépendante de l'appareil lui-même, celle du moteur qui fournit la force nécessaire au fonctionnement de l'appareil et anime le ventilateur dont nous allons parler. Les gaz de la combustion de ce moteur, locomobile ou machine fixe, suivant l'importance donnée à

l'usine, sont donc les seuls que le procédé Guillaume envoie dans l'air; on se trouve alors dans les conditions ordinaires de toutes les industries qui nécessitent une force motrice produite par le charbon, et qu'on installe sans inconvénient au centre des habitations.

Si l'usine pouvait disposer d'une force motrice autre que la vapeur, chute d'eau, câble télodynamique, etc., elle fonctionnerait sans le secours d'une cheminée quelconque, l'unique résidu qui en sorte, après le traitement définitif des matières, étant de l'eau limpide, presque inodore, à la température de 30° environ et qu'on peut, sans inconvénient pour le voisinage, évacuer à l'air libre dans un canal quelconque.

L'outillage de l'usine des Gardinoux se compose essentiellement de cinq systèmes d'appareil : le dessiccateur D, le séchoir à l'air H, le séchoir à engrais K, le four à brûler les gaz E et le réfrigérant I. Ces appareils, que la planche 1 représente dans le prolongement l'un de l'autre, peuvent être aussi disposés sur deux plans, le séchoir de l'air H et le réfrigérant I étant placés non en alignement mais bien derrière le four E et le ventilateur F.

Ceci dit, arrivons à la marche d'une opération.

Les matières de vidanges vertes ou solides contenant environ 87 p. 100 d'eau sont déversées dans le bassin de réception A, à leur arrivée à l'usine. La propulsion d'air *forcé,* sous une pression d'environ 25 centimètres d'eau, régnant dans tous les appareils, y compris le bassin de réception, aucune émanation fétide ne s'échappe de ce bassin. Les matières vertes y sont acidifiées par l'acide sulfurique, opération qui a le double avantage de les désinfecter partiellement et de fixer les produits ammoniacaux qui pourraient s'en dégager, au détriment de la richesse de la poudrette.

Après avoir subi cette acidification, les matières sont portées automatiquement, en vase clos, par un monte-jus B, du bassin de réception dans le réservoir de distribution C, chargé d'alimenter le dessiccateur D.

Pour passer à l'état de poudrette marchande, à 20 p. 100 d'humidité, les matières vertes doivent perdre plus des trois quarts de l'eau qu'elles renferment.

Cette dessiccation s'opère, toujours hors du contact de l'air exté-

16

rieur, en deux temps : 1° dans le dessiccateur B ; 2° dans le séchoir K. Dans le dessiccateur, les matières sont mises en contact avec l'air foulé par le ventilateur F, à raison de 24 000 mètres cubes à l'heure. Cet air, porté, dans le four E, à une température très élevée résultant de la combustion du charbon dans le foyer de ce four, arrive entre 350° et 400° par le tuyau *l*, au contact des matières contenues dans le dessiccateur. Un arbre horizontal, placé au centre de l'appareil et muni dans toute sa longueur d'augets perpendiculaires à son axe, est animé d'un mouvement continu de rotation. Il divise et élève constamment la matière pour la laisser retomber en pluie sur le courant d'air chaud, de sorte que toute la masse perd rapidement la plus grande partie de son eau, qui est entraînée avec le courant d'air chaud.

Dans cette première partie de la dessiccation, la teneur en eau des matières de vidanges tombe de 87 à 40 p. 100 ; l'air qui sort de l'appareil à une température voisine de 100° est saturé de vapeur d'eau et mélangé aux gaz nauséabonds enlevés à la matière ; il s'échappe (toujours sous pression) par le carneau *a*, qui le conduit en *a'* dans le séchoir, placé, comme je l'ai dit plus haut, soit en prolongement, soit derrière le dessiccateur. Ce séchoir est garni de plaques de fonte convenablement disposées, sur lesquelles sont étendues, sous une épaisseur de 10 centimètres, les matières, à 40 p. 100 d'humidité, provenant de l'opération précédente.

L'air chaud qui circule sous les plaques en fonte achève la dessiccation ; la matière, ne contenant plus que 20 p. 100 d'eau environ, est broyée et criblée au sortir du séchoir : elle est alors prête pour la livraison à l'agriculture. Dans cet état, la poudrette ne répand pas d'odeur et son maniement à l'air libre ne présente plus aucun inconvénient pour la salubrité, aucune gêne pour le voisinage.

Revenons maintenant à l'appareil pour étudier la marche des gaz sortis du dessiccateur, leur épuration et leur rentrée dans les appareils.

L'air sortant des séchoirs est encore à 40° environ ; il est saturé de gaz infects et contient, par mètre cube, environ 58 grammes d'eau. Au sortir du séchoir par le carneau *b*, il pénètre en *b'* dans le réfrigérant I surmonté de deux colonnes RR, dans lesquelles de

l'eau tombant en pluie fine refroidit les gaz et condense les vapeurs. Ainsi refroidi, mais encore humide, l'air sort en *d* et pénètre en *d'* dans le séchoir H, formé de la réunion de plusieurs chambres de circulation, remplies de fagots, dont les aspérités retiennent l'eau entraînée par la violence de sa course au sortir du réfrigérant. Cet air et tous les gaz qu'il contient étant ainsi refroidis et relativement secs, sortent de la chambre aux fagots par le carneau *e* et sont aspirés en *e'* par le ventilateur F qui les refoule dans le four où les gaz sont brûlés et produisent ainsi une notable économie de charbon. L'air, purifié par cette combustion, se mélange à l'air pur continuellement aspiré du dehors par le ventilateur, recommence le trajet que nous venons de décrire.

Le travail est donc absolument continu, sauf le temps très court nécessaire pour le déchargement du dessiccateur. Ce travail s'effectuant dans des appareils et conduits clos, sans contact avec l'air extérieur autre que celui qui est *aspiré* par le ventilateur pour compenser les pertes en oxygène résultant de la combustion, ne donne lieu à aucun dégagement dans l'atmosphère de gaz infect.

On est frappé, lorsqu'on suit une opération à l'usine d'Aubervilliers, de voir l'intensité de la combustion dans le foyer F où se brûlent tous les gaz infects dégagés des matières en traitement. Le tirage énorme produit par la propulsion de l'air pur dans le foyer explique l'intensité de la combustion et l'absence d'odeur dans l'usine.

Tous les desiderata exprimés dans le rapport de la commission d'assainissement de Paris m'ont paru réalisés par le procédé Guillaume, qui me semble constituer le plus grand progrès qui ait été accompli dans le traitement des vidanges et résoudre la question hygiénique de ce traitement d'une manière complète, d'autant que l'inventeur peut appliquer les mêmes principes au traitement des eaux vannes. Les appareils brevetés de M. Guillaume, avec les modifications qu'entraîne la différence des matières à traiter, sont conçus en vue de l'extraction de l'ammoniaque par la chaux, sans dégagement, dans l'air, d'aucun gaz infect. Ainsi se trouve résolu hygiéniquement le difficile problème de l'utilisation directe des vidanges des villes.

L'appareil que je viens de décrire permet de traiter, par 24 heures, 40 à 45 mètres cubes de matières, donnant plus de 6 000 kilogr. d'engrais.

Une usine qui compterait dix de ces appareils pourrait donc livrer 60 à 65 tonnes de poudrette par jour à l'agriculture, soit, par année, 20 000 tonnes au moins. C'est à peu près moitié de la production annuelle des fosses fixes, tinettes et diviseurs de la ville de Paris.

Vingt appareils Guillaume suffiraient d'après cela pour transformer en poudrette la totalité des vidanges de la capitale.

4° Composition et valeur agricole de l'engrais organique.

L'installation que je viens de décrire et dont j'ai examiné le fonctionnement dans ses détails à l'usine des Gardinoux est plutôt, en raison de ses dimensions, une installation expérimentale qu'une usine industrielle. Elle fonctionne depuis 1883, et, dans ces cinq années, elle a pu fournir à l'agriculture des quantités considérables de poudrette.

Dans toutes les exploitations où cette poudrette a été employée, les résultats, comme il est naturel de s'y attendre, ont été excellents. Je citerai notamment, parmi les agriculteurs distingués qui ont expérimenté cet engrais, MM. Nouette-Delorme, Darblay, Mir, Couteaux, Maisonnay, etc. Les bons effets de cette poudrette n'ont rien qui puisse surprendre : les engrais organiques riches en azote et en acide phosphorique produisant, dans la plupart des sols, des résultats supérieurs, en général, à ceux qu'on peut obtenir avec les engrais minéraux seuls.

L'engrais organique Guillaume est vendu avec garantie absolue de titrage en principes fertilisants. D'après la composition moyenne des matières vertes des vidanges de Paris, la poudrette fabriquée après acidification de ces matières peut contenir les quantités suivantes :

Azote	4.50
Acide phosphorique	6.00
Potasse	1.50

Toutes les analyses exécutées, soit au laboratoire de la Station agronomique de l'Est, soit dans d'autres laboratoires, ont fait cons-

tater dans la poudrette en question un taux d'azote presque toujours supérieur à 4.5 p. 100[1], un taux de potasse égal ou supérieur à 1.35 p. 100. Quant à l'acide phosphorique, l'analyse a plusieurs fois accusé des chiffres inférieurs à 6 p. 100. Dans certains échantillons même, la quantité trouvée de ce corps ne dépassait pas 3.5 p. 100. Quelques explications à ce sujet ne seront pas superflues et montreront que dans un travail industriel régulier le taux de 6 p. 100 devra être régulièrement atteint et parfois dépassé. Je dois dire d'ailleurs que la garantie donnée par M. Guillaume n'est en rien influencée par cette variation, les poudrettes livrées à l'agriculture contenant toujours les 6 p. 100 d'acide phosphorique garantis, la quantité nécessaire de phosphates solubilisés par l'acide sulfurique étant ajoutée, lorsque cela est nécessaire, pour parfaire le titre.

La moyenne des analyses de poudrettes brutes fabriquées, de 1884 à 1888, à Aubervilliers, donne les chiffres suivants :

	p. 100.
Azote	5.23
Acide phosphorique	4.47
Potasse	1.37[2]

Pour se rendre compte de l'écart de 1 1/2 p. 100 à 3 p. 100 dans le taux d'acide phosphorique, constaté dans les essais industriels de

1. Fait intéressant à noter et qui prouve la valeur du principe appliqué par M. Guillaume, le taux d'azote de la poudrette est légèrement supérieur à ce qu'il devrait être d'après la composition de la matière verte. Cela tient à ce que les gaz de la combustion qui renferment l'ammoniaque provenant de la houille ne se déversant pas dans l'atmosphère, l'ammoniaque qu'ils renferment est retenue par l'acide employé pour acidifier les matières vertes, et s'ajoute ainsi à l'azote qu'elles contiennent naturellement.

2. Au cours actuel des matières fertilisantes, les 100 kilogr. de poudrette présentant cette composition valent, emballage non compris :

$5^{kg},23$ azote à	$1^{f}.50$	=	$7^{f},85^{c}$
$4^{kg},47$ acide phosphorique à	0.50	=	2,23
1,37 potasse à	0,50	=	0,68
Valeur des 100 kilogr		=	$10^{f},76^{c}$

Je néglige dans ce calcul la valeur de la matière organique (40 p. 100) très appréciable pour les cultures en sols mal fumés ou épuisés.

M. Guillaume, il faut savoir comment les choses se passent dans cette usine provisoire.

Tous les jours, les vidanges de Paris sont provisoirement déposées dans d'immenses bassins contenant au minimum 400 à 500 mètres cubes; elles sont retirées de ces bassins dans les trois ou quatre jours qui suivent l'arrivage. Il en résulte que M. Guillaume qui, jusqu'à ce jour, n'a employé qu'un appareil et cela plutôt, comme nous l'avons dit, à titre de démonstration que comme fabrication permanente, ne consomme journellement sur les 400 à 500 mètres cubes contenus dans chaque bassin que 30 à 40 mètres cubes environ. Or les matières qui, dans l'installation provisoire de M. Guillaume, sont puisées dans les bassins à l'aide d'une pompe, fournissent toujours la partie la plus liquide et la plus légère, si bien que les phosphates, qui comptent au nombre des parties les plus lourdes, se déposent au fond du bassin. Cet état de choses cessera dès que les dix appareils que M. Guillaume se propose d'établir, en attendant mieux, seront en fonction, car, à ce moment-là, les vidanges, au lieu d'être déposées dans les bassins actuels, seront directement débardées dans les bassins de réception A de l'usine Guillaume et vidés, dès lors, complètement à l'aide des monte-jus. Lorsque M. Guillaume a traité une vidange complète, il a toujours trouvé à la poudrette une teneur en acide phosphorique supérieure à 6 p. 100. Je citerai, comme exemple, une analyse du 8 décembre 1884, qui assigne à la poudrette faite dans ces conditions la richesse suivante :

	p. 100.
Azote	6.50
Acide phosphorique	7.95

La vidange verte contient, d'après les très nombreuses analyses qui en ont été faites, de 20 à 25 kilogr. de phosphate pur par 1 000 kilogr. Or, pour faire 1 000 kilogr. d'engrais par le procédé Guillaume, on emploie environ 6 000 kilogr. de matières vertes. Si l'on prend, comme teneur moyenne, le chiffre de 22^{kg},500, on a 135 kilogr. de phosphate qui, divisés par 2.18 (coefficient du phosphate de chaux), donnent 6^{kg},19 d'acide phosphorique. En marche régu-

lière, il y a donc lieu de penser que le taux de 6 p. 100 devra être obtenu.

Dans tous les cas, les produits livrés par l'usine des Gardinoux sont toujours au titre garanti.

5° Résumé et conclusion.

Mon but, en faisant connaître les procédés expérimentés depuis cinq ans avec succès à l'usine d'Aubervilliers, est principalement d'attirer l'attention des agronomes et celle des administrateurs des grandes villes sur la solution que le système Guillaume donne pour l'utilisation agricole directe des vidanges. L'hygiène publique et l'agriculture sont intéressées, au premier chef, à la propagation de ce système. *Fertiliser les campagnes en désinfectant les villes,* suivant l'heureuse expression de M. Couteaux, tel est le résultat éminemment pratique, qu'il est possible d'obtenir par le traitement des matières de vidanges dans tous les centres de population, et ils sont nombreux encore, qui possèdent des fosses fixes.

L'industrie qui résulterait de la généralisation de l'emploi du système Guillaume n'a pas à redouter, comme beaucoup d'autres, l'insuffisance de débouchés pour ses produits. Sous le rapport économique, les procédés de M. Guillaume ne le cèdent en rien à leur valeur hygiénique.

Les frais d'installation du système sont relativement minimes, par rapport aux quantités de produits qu'on peut préparer; le prix de revient du nouvel engrais organique est assez bas pour que les villes ou les industriels qui se décideront à appliquer le système Guillaume n'aient pas à redouter la concurrence pour la vente des produits. Il est bien à souhaiter, dans l'intérêt de la santé publique autant que dans celui de l'agriculture, de voir le système installé à Aubervilliers se propager dans tous les centres de population de quelque importance. Si l'on adoptait pour les fosses fixes une construction qui les rendent complètement étanches, vases en fonte, fer, etc., on arriverait à supprimer toute infection du sol.

La fumure et, notamment, l'apport d'azote et d'acide phosphorique à nos sols est le facteur prédominant des hauts rendements,

sans lesquels il est impossible aux cultivateurs de sortir de la phase douloureuse que nous traversons depuis quelques années.

C'est donc faire œuvre patriotique que de provoquer, par tous les moyens de propagande dont chacun de nous dispose, l'importation d'engrais dans nos champs, à commencer par les matières dont l'abandon ou le traitement, dans de mauvaises conditions, entraîne une si grande perte pour l'agriculture et de si grands dommages pour la salubrité des villes. C'est à ce double titre qu'il m'a paru utile de faire connaître les procédés de M. Guillaume, que des essais poursuivis sans relâche, depuis plus de dix ans, par l'inventeur, ont rendu absolument pratiques et économiques.

L. Grandeau.

LA MARCHE DE L'ABSORPTION

DES

PRINCIPES NUTRITIFS PAR LES PLANTES

ET SON IMPORTANCE

POUR LA THÉORIE DES ENGRAIS

Par le Dr G. LIEBSCHER[1]

INTRODUCTION

Les progrès que l'agriculture a faits dans notre siècle sont liés de la façon la plus étroite au développement de nos théories sur la nutrition des plantes, ainsi qu'à la manière dont nous appliquons ces théories à la fumure. Mais si l'on se proposait de faire l'historique de ces progrès, on arriverait certainement à reconnaître que l'opinion exprimée dans la plupart des ouvrages sur l'agriculture, et d'après laquelle tous les progrès importants de la pratique doivent être ramenés aux découvertes et aux travaux intellectuels des théoriciens, n'est pas complètement exacte. Nous verrons plutôt que la théorie et la pratique ont été continuellement engagées dans une

1. *Journal für Landwirtschaft*, t. XXXV. Fascicules 3 et 4, 1887.

Cette étude est d'un grand intérêt, tant au point de vue des idées théoriques discutées par l'auteur qu'en ce qu'elle nous offre une analyse à peu près complète des recherches entreprises depuis une vingtaine d'années, dans les Stations agronomiques et laboratoires agricoles, sur la composition immédiate et sur les cendres des végétaux de la grande culture à leurs diverses stades de développement. M. Liebscher a réuni dans un espace restreint les résultats disséminés dans de nombreux recueils et rendu, par cette étude critique de l'évolution de la nutrition des végétaux, un service considérable aux agronomes. J'ai pensé qu'une traduction *in extenso* de cette œuvre consciencieuse, qui a dû coûter beaucoup de peines et de temps à son auteur, devait trouver place dans notre recueil international. L'excellente traduction que je dois à mon collègue, M. Gerschel, professeur à l'École forestière, ne saurait manquer d'être accueillie avec faveur par les lecteurs des *Annales*. L. Gr.

lutte où tantôt l'une, tantôt l'autre, avait l'avantage, lutte bienfaisante, car les deux concurrentes, averties ainsi de leurs défauts, excitées à les corriger, ont été dirigées vers la bonne voie et poussées à faire de nouveaux progrès. A l'époque de Thaer, la pratique de la fumure n'était-elle pas supérieure à la théorie contemporaine, et cette circonstance n'a-t-elle pas donné une forte impulsion aux travaux féconds de Liebig? Le rôle important que celui-ci a joué dans notre science consiste surtout en ce qu'il a su combiner les faits déjà reconnus auparavant par les savants qui se sont occupés de physiologie végétale avec les expériences pratiques des agriculteurs et qu'il a ainsi créé une nouvelle théorie de l'engrais, plus conforme à nos connaissances. Mais cela produisit un changement dans les relations de la pratique et de la théorie. Comme toute bonne théorie arrivant à propos, la nouvelle doctrine ouvrit un vaste champ à la théorie et à la pratique, mais surtout à la première, car il était relativement facile, grâce aux méthodes exactes de la chimie moderne, de recueillir des preuves à l'appui de « la loi de la restitution » et à « la loi des minima », formulées par Liebig. Mais, par là, la théorie obtint sur la pratique une avance considérable.

On rencontra de nombreuses difficultés; il fallut beaucoup de temps pour convaincre les agriculteurs de la justesse de cette doctrine et pour en tirer les nombreuses et heureuses conséquences qu'on peut observer dans la culture des plantes dans toutes les exploitations dirigées conformément aux idées modernes et qui se manifestent particulièrement dans l'emploi universel des engrais artificiels. Nous pouvons bien dire que les principes fondamentaux de la théorie de Liebig sont déjà complètement entrés dans la chair et le sang de la partie la plus intelligente de nos populations rurales. Mais ces représentants de la pratique ne se sont pas arrêtés là; ils sont allés plus loin. En appliquant et en expérimentant dans les dernières décennies la théorie de Liebig, ils ont reconnu que celle-ci ne répond pas à de nombreuses questions que l'agriculteur est obligé de poser et qu'elle conduit à des conséquences qui, bien souvent, ne s'accordent pas avec sa propre expérience. Quelle tranquillité d'âme l'agriculteur peut-il éprouver de nos jours, quand il est fondé à se dire que, par l'engrais, il rend réellement au sol,

quintal pour quintal, ce qu'il lui enlève par ses récoltes en éléments nutritifs importants? Peut-il bien se dire, en ce cas, qu'il fume ses champs de façon à pouvoir en attendre, au moins pour cette raison, le maximum des récoltes? Beaucoup se contentent de cette réflexion; mais ceux-là ne sont vraiment pas les plus mauvais praticiens, qui conforment la fumure de leurs champs, non pas à des calculs statiques, mais à des observations purement empiriques et qui pensent que telle ou telle espèce de fumure se trouve bien rémunérée par une augmentation du rendement pour telle plante, mais qu'elle l'est moins bien pour telle autre. Ainsi le praticien fume le plus fortement possible le colza avec du fumier d'étable, l'orge, au contraire, avec de l'azotate de soude et du superphosphate, le lupin pas du tout ou seulement avec des sels de potasse, sans beaucoup s'inquiéter de la composition des produits de la récolte. Il fournit ainsi à chaque plante en particulier l'engrais dont elle a besoin, tandis que Liebig posait comme principe fondamental que, par l'engrais, il fallait rendre au sol ce que nous lui enlevons ou ce que nous voulons lui enlever par la récolte[1].

Et la théorie? Elle cherche préalablement à couvrir d'un petit manteau scientifique, autant que faire se peut, les observations incontestables de la pratique. Ses représentants continuent sans relâche leurs travaux, tout en étant obligés de reconnaître que, pour le moment, la pratique les devance de nouveau sur beaucoup de questions.

Plus d'un se dit sans doute qu'il est grandement temps qu'il vienne enfin à l'un ou à l'autre une bonne idée, comme il en est venu une à Liebig, et qui ouvre un champ tout nouveau à l'activité. Peut-être pouvons-nous apercevoir une idée de ce genre dans les récentes découvertes de Hellriegel[2]. Mais en général nous sommes obligés de convenir que les progrès faits pendant les dernières décennies, dans la connaissance théorique des principes de notre doctrine sur l'engrais laissent beaucoup à désirer, quoiqu'il soit possible d'en faire encore en persévérant dans la voie suivie jusqu'ici.

---

1. Voy. pour ces problèmes l'article de Drechsler dans le *Journal für Landwirtschaft,* année XXXII (1884), p. 308.

2. Possibilité de l'absorption de l'azote à l'état libre par les légumineuses.

C'est pourquoi un grand nombre de savants pensent depuis longtemps qu'il vaut mieux poursuivre l'idéal de la combinaison de la théorie avec la pratique, en mettant directement au service de la pratique empirique leur talent d'observation perfectionné par leurs travaux scientifiques, et en posant, sous des formes infiniment variées, aux plantes culturales et aux champs, la question de savoir si telle ou telle forme ou quantité d'engrais leur plaît davantage. Même si le but de tels travaux est en première ligne purement empirique, chaque bonne réponse constitue cependant une pierre qui peut être employée plus tard à agrandir l'édifice de notre science. Dans cette voie, on est déjà arrivé à un résultat très important ; en effet, grâce aux nombreux essais pratiques de fumure, on est certain aujourd'hui que la quantité d'engrais exigée par une plante ne correspond pas exactement à la quantité d'éléments nutritifs exigée par elle ; que telle plante peut réclamer l'apport de grandes quantités de tel ou tel élément nutritif dans l'engrais ou dans le sol (lin, colza, etc.), quoiqu'elle en absorbe seulement une faible portion, tandis que telle autre (trèfle, légumineuses) absorbe des quantités considérables d'éléments nutritifs, sans tenir pour cela à ce que ceux-ci lui soient apportés par la fumure. En établissant ce fait, la pratique force la théorie de l'engrais à avoir égard, plus qu'elle ne l'a fait jusqu'ici, à la physiologie de la nutrition des plantes.

Les essais les plus importants qui aient été faits dans les dernières années pour compléter les principes fondamentaux de la théorie des engrais de façon à les mettre d'accord avec les résultats de la pratique, me semblent être les travaux de Drechsler (*Journal für Landwirtschaft,* 1884, p. 308) et de Wagner [1], abstraction faite des découvertes de Hellriegel relatives à une question spéciale et qui font époque dans l'histoire de la science agricole. Tout d'abord, Wagner, grâce à la méthode si exacte qu'il a employée dans ses essais de fumure, a donné une expression précise au fait généralement connu, mais à peu près négligé jusqu'ici par la théorie, à savoir qu'il faut faire une distinction importante entre le besoin de

1. *Journal für Landwirtschaft*, 1883, p. 255 et *Landw. Jahrbücher*, 1883, p. 583. Voy. aussi le livre : *Düngungsfragen*, 7e édit., Berlin, 1887.

principes nutritifs que nous apprenons à connaître par la composition des plantes, d'une part, et le besoin d'engrais spécifique pour ces mêmes plantes, d'autre part. Les essais qu'il a faits, notamment sur l'orge et les pois, ont conduit aux résultats principaux suivants: toutes conditions de végétation égales d'ailleurs, l'engrais azoté n'a produit à peu près aucun effet sur les pois, tandis qu'il a produit un effet considérable sur l'orge. Une fumure unique de potasse a produit quelque effet sur l'orge, aucun effet sur les pois ; la fumure d'acide phosphorique a produit bon effet sur les deux plantes, mais par la potasse et l'acide phosphorique réunis[1], on a encore obtenu un meilleur effet. Une addition d'azote à ces trois engrais minéraux n'a produit qu'une faible augmentation dans le rendement des pois, a augmenté, au contraire, celui de l'orge, bien au delà de la quantité obtenue par une fumure minérale seule. Wagner en a conclu que la faculté d'absorber l'azote du sol, possédée par le pois, dépasse de beaucoup celle possédée par l'orge et que, pour cette raison, la première n'a besoin d'aucun engrais azoté, tandis que la seconde en a besoin. C'est pourquoi il a émis ensuite comme « nouveau principe de fumure » la proposition suivante : les plantes culturales doivent en première ligne recevoir comme engrais les matières qu'elles ont relativement *la plus grande difficulté à s'assimiler par suite de leurs propriétés spécifiques*.

Le fait que les plantes culturales riches en azote (trèfles, pois, vesces, etc.) se montrent peu reconnaissantes pour une fumure azotée, tandis que certains végétaux très riches en potasse (pommes de terre, betteraves, etc.) nous récompensent rarement pour une fumure de potasse, a en outre conduit Wagner à émettre l'hypothèse

1. Je ne crois pas pouvoir entrer ici dans l'examen des effets différents produits sur les deux plantes par l'engrais minéral, parce que ces plantes sont récoltées à l'époque de leur floraison. A cette époque, comme nous le verrons plus loin, l'orge a absorbé à peu près 80-90 p. 100 de la quantité d'acide phosphorique et toute la quantité de potasse qui lui sont nécessaires, tandis que le pois en fleurs a seulement absorbé le tiers de l'acide phosphorique et la moitié de la potasse qui lui sont nécessaires. Les résultats obtenus ne peuvent donc pas être comparés suivant la méthode adoptée par Wagner. Pour la même raison, il faut attacher moins d'importance à l'expression numérique du résultat obtenu par Wagner relativement à l'azote, qu'au fait même que les pois montrent plus d'indifférence à l'égard du nitrate de soude que l'orge.

suivante : les plantes s'assimilent le plus facilement la matière qui constitue proportionnellement la plus forte masse dans leur récolte et éprouvent en même temps le moindre besoin d'engrais relativement à cette matière. Ce qu'il faut entendre par « propriétés spécifiques », Wagner ne le dit pas clairement ; il pense seulement que ce sont des conditions osmotiques. D'ailleurs il croit que la tâche la plus pressante des savants est moins de définir plus exactement le terme encore passablement obscur de « propriétés spécifiques » que d'établir nettement quel engrais spécifique est nécessaire à chaque plante en particulier.

Si nous pouvons nous contenter dans le cas présent d'être renvoyés à des conditions osmotiques, alors Wagner a parfaitement raison de formuler, comme il l'a fait, son nouveau principe de la fumure ; mais si cette explication ne suffit pas, alors nous n'avons aucune preuve que la difficulté de l'assimilation doit réellement être considérée comme la cause de la différence des exigences relativement à la fumure. Mais, en ce cas, le nouveau principe de la fumure n'est pas autre chose qu'une nouvelle expression du fait connu de tous les agriculteurs, à savoir que toutes les plantes ne peuvent pas être fumées directement, que celles-là seules peuvent l'être qui s'en trouvent bien d'après les données de l'expérience. La conséquence, qu'il faut établir exactement par des essais quelle fumure convient le mieux à telle ou telle plante, me semble avoir été tirée par les agriculteurs, il y a déjà plusieurs dizaines d'années. Sans méconnaître les éminents services rendus par Wagner à l'amélioration de la méthode des essais d'engrais, je crois donc qu'une nouvelle expression pour un fait déjà connu, si elle ne comprend aucune explication de ce fait, n'avance guère la théorie de l'engrais. Il faudrait cependant que l'osmose, par les cloisons des cellules des racines, fût en général soumise aux mêmes lois que les autres phénomènes osmotiques, c'est-à-dire la rapidité avec laquelle la diffusion des éléments nutritifs se fait, doit être, dans le pois comme dans l'orge, en premier lieu une fonction de la grosseur de leurs molécules, étant admis que les substances entrant par diffusion dans les cellules du chevelu sont entraînées pour être élaborées ultérieurement et que, par conséquent, elles ne peuvent pas s'accumuler. Cependant nous ne pouvons

pas admettre ce dernier fait pour un épi d'orge avide d'azote. Mais il paraît tout aussi peu vraisemblable que l'orge soit si mal adaptée aux conditions de son existence que l'absorption d'un élément nutritif se trouvant à sa disposition, manque par suite de difficultés osmotiques. Il y a déjà bien des années que Hellriegel est arrivé à la conclusion que l'orge doit être considérée comme l'un des plus puissants réactifs sur l'azote du sol. Par ces considérations, je fus donc amené à penser que la raison de la manière différente dont se comportent ces deux plantes doit être cherchée dans la quantité trop faible de l'azote du sol pouvant être assimilée dans un temps déterminé ou dans la forme où il se présente. Dans cette vue, je me mis à étudier le deuxième travail mentionné plus haut, je veux dire celui de Drechsler. En s'appuyant sur les essais de Wagner et sur beaucoup de faits combinés d'une façon fort ingénieuse, cet auteur croit devoir émettre les opinions suivantes :

1. La quantité totale des éléments nutritifs, qui se trouvent même dans un mauvais sol, est généralement si grande, que la quantité que nous pouvons apporter dans l'engrais est relativement de nulle importance. Si nous pouvons néanmoins constater un effet évident de la fumure, ce fait doit être attribué à ce que la plante en question possède la propriété de tirer principalement l'azote qui lui est nécessaire de l'engrais et non de la grande provision existant dans le sol. Mais si la fumure n'a pas d'influence visible sur la plante cultivée, il est vraisemblable que la plante en question a la propriété de vivre de la provision existant dans le sol et non de l'engrais. Or la provision du sol n'étant augmentée que dans une mesure insignifiante par la fumure, la nullité de l'action de la fumure, en ce cas, peut être considérée comme parfaitement expliquée.

2. De ces faits résulte la nécessité :

a) De diviser les éléments nutritifs que nous mettons à la disposition de la plante dans le sol et dans l'engrais, en *éléments nutritifs de provision et en éléments nutritifs d'engrais.*

b) D'étudier les plantes au point de vue de savoir auquel de ces deux groupes d'éléments nutritifs elles sont obligées d'avoir recours et pour quels éléments nutritifs ce recours a lieu.

c) D'assigner à la fumure deux buts différents, puisqu'elle doit être

considérée ou bien comme fumure de provision, c'est-à-dire du sol, ou bien comme fumure courante, c'est-à-dire comme fumure de la plante.

Certes Drechsler a eu là une pensée heureuse et féconde en combinant de cette façon la condition exigée par Liebig (restitution des matières enlevées au champ par les récoltes comme fumure du sol) avec la pratique actuelle de la fumure (fumure de la plante). Néanmoins, je ne puis pas complètement adopter cette pensée dans le sens de Drechsler. Selon moi, le développement théorique et pratique de la fumure des plantes conduira certainement à ce résultat que toutes les plantes trouveront dans le sol ce dont elles ont besoin, si toutefois on maintient une bonne rotation des récoltes, et que deviendra alors la fumure du sol ? Théoriquement, on est fondé à croire qu'avec une fumure parfaite des plantes, telle que nous la trouvons au degré le plus élevé dans l'horticulture et telle qu'elle existe depuis des siècles dans l'Asie orientale, notamment dans le Japon, l'équilibre statique de l'exploitation ne serait cependant pas atteint. Faut-il alors maintenir, même encore aujourd'hui, les exigences de la fumure du sol formulées par Liebig ? Liebig a cité l'agriculture japonaise comme le modèle de la complète restitution des éléments nutritifs ; d'après ma propre expérience, je la considérerais comme un exemple d'une bonne exploitation par la fumure des plantes et je ne crois pas que les Japonais augmenteraient leurs récoltes s'ils tenaient une comptabilité statique et si, en se basant sur les résultats obtenus, ils employaient plus d'engrais, afin d'introduire la fumure du sol dans le sens de Liebig. Néanmoins, je ne veux pas rejeter les calculs statiques, car ils exciteront certainement tantôt à conserver une matière de déchet jusqu'ici dédaignée, tantôt à introduire sans frais nouveaux un changement dans la succession des récoltes ou dans la quantité du bétail élevé, ou dans l'alimentation de ce dernier, etc. ; mais vouloir inférer de leurs résultats un précepte tel que : tu dois acheter tant et tant de quintaux de tel ou tel engrais, cela ne me semble pas justifié. D'ailleurs, si on fume convenablement les plantes, une fumure du sol dans le sens de Liebig pourrait bien devenir superflue dans l'avenir, et naturellement on ne songerait plus à la pratiquer. Mais le main-

tien d'une rotation convenable des récoltes est le complément indispensable de la fumure des plantes, et en émettant ce principe, je crois me rapprocher de nouveau du point de vue de Drechsler. Quoique je ne puisse admettre, dans son sens original, l'expression de *fumure du sol*, employée par Drechsler, je ne voudrais pas non plus la rejeter entièrement. Si nous apportons au champ un engrais qui doit agir pendant de nombreuses années, et cela sur tous les fruits qui peuvent y être cultivés, soit une forte fumure à l'aide de fumier d'étable, soit, sur certains sols, une forte fumure à l'aide de potasse ou par un marnage exécuté périodiquement, etc., etc., il est commode, en fait, de se servir à cette occasion de l'expression spéciale : fumure du sol. Sous un certain rapport, il s'agit certainement ici d'une fumure destinée à approprier davantage le sol à toutes les plantes culturales ; mais nous ne pouvons cependant pas nous représenter l'effet de cette fumure aussi différent en principe que les termes de la théorie de Drechsler me semblent l'exiger. Si donc je me sers dans la suite des expressions : fumure du sol et fumure de la plante, je voudrais désigner par la première une fumure destinée à corriger un défaut du sol qui agit d'une façon nuisible sur toutes les plantes culturales, tandis que la seconde s'appliquerait à une fumure destinée à satisfaire aux besoins spéciaux d'une plante particulière. En fait, cette définition ne s'éloigne guère de la signification que Drechsler attribuait à ces expressions qu'il a été le premier à employer, de sorte que je ne crois pas devoir les remplacer par d'autres.

Quant aux autres idées, introduites par Drechsler dans la théorie de la fumure, je puis dire qu'elles me semblent être, en général, parfaitement justes. Seulement, je crois que nous sommes obligés de nous représenter autrement l'origine de l'exigence d'un engrais spécifique chez les plantes culturales. De même que Wagner, Drechsler part de ce principe (par exemple, *loc. cit.*, p. 326) : « Chaque plante n'a pas la faculté de puiser dans l'engrais tous les éléments nutritifs qu'elle est obligée d'assimiler. » Pour moi, je crois que ce cas est très rare. Bien que, par exemple, le pois ne nous soit pas reconnaissant pour une fumure azotée, on se tromperait si, pour cette raison, on lui refusait la faculté d'absorber l'azote de l'engrais. A mon

avis, voici quelle est la situation : le pois absorbe l'azote de l'engrais aussi bien que l'avoine et l'orge, mais il ne sait pas en tirer le même profit que ces dernières. La raison en est, comme Wagner le démontre très bien (*Düngungsfragen*, p. 39), qu'une quantité de la récolte d'orge contenant 10 kilogr. d'azote représente une valeur, en argent, d'environ 85 fr., tandis que la quantité de la récolte de pois contenant la même quantité d'azote représente seulement une valeur de 45 fr. en argent. En outre, l'effet produit sur le pois par une fumure directe d'azote est défavorable, parce que cette fumure, à ce qu'il paraît, amène chez cette plante une végétation plus lente, d'une durée plus longue, et avec cela une maturation du fruit moins uniforme.

Ce fait peut être conclu de maints essais, et il est en outre pleinement confirmé par l'expérience agricole en général. Celle-ci démontre incontestablement que des pois fumés produisent, notamment en paille, plus de fourrage par hectare que des pois non fumés, pendant que, par la prolongation de la floraison, du moins sur les sols compacts, les fruits ne mûrissent pas uniformément et le rendement en grains devient ainsi incertain. On peut admettre comme un fait sûr que cet effet est produit par la teneur en azote du fumier d'étable, car on peut obtenir le même résultat par le nitrate de soude. Aussi dans les cas où l'on a des raisons pour ne pas craindre de pousser à la paille, soit par suite de conditions plus favorables du sol, soit parce que l'on cultive les pois en vue du fourrage, il est le plus souvent de règle d'assigner précisément aux champs de pois le fumier de ferme le plus riche en azote, à savoir le fumier de mouton et de cheval. Tel est, par exemple, l'usage général dans les exploitations de betteraves, dans la province de Saxe, parmi lesquelles il en est beaucoup où, par principe, on ne cultive jamais les pois sans fumier d'étable. Nous dirons à ce propos que c'est là un fait auquel on n'attache pas actuellement assez d'importance et sur lequel nous reviendrons avec plus de détail quand nous parlerons plus loin des pois. En attendant, retenons bien ce fait, qu'il est des circonstances où il ne semble pas judicieux de donner aux pois une fumure azotée ; sans doute, ils absorbent l'azote qui y est contenu, mais ils ne savent pas assez l'utiliser, tandis que, sur le même sol, les céréales nous

récompensent, pour le même engrais azoté, par une forte augmentation du rendement. Comment faut-il donc se représenter le besoin d'engrais éprouvé par les dernières ? A mon avis de la façon suivante : si une plante culturale a la faculté de répondre à un engrais par une augmentation considérable du rendement, cela signifie évidemment que sa croissance est plus luxuriante, c'est-à-dire plus normale, par suite de la fumure, qu'elle ne l'aurait été sur un terrain non fumé. Sur un sol non fumé, elle éprouve donc, en fait, le besoin d'une fumure, pour pouvoir se développer normalement, et il n'y a nul intérêt de savoir si nous devons nous représenter l'existence de ce besoin comme une propriété naturelle, inhérente peut-être au mode de croissance, ou comme une conséquence de la culture, de même que nos races domestiquées exigent une nourriture plus substantielle que les races sauvages, si elles doivent se développer normalement, conformément aux caractères de la race. En tout cas, les deux manières de voir peuvent être admises. Dans ce travail, il ne m'a pas été possible d'élucider en détail la seconde, mais il est incontestable qu'elle joue un rôle considérable dans la culture intensive des plantes.

La première manière de voir, qui doit nous occuper d'une façon plus spéciale dans le cours du présent travail, paraît, de prime abord, un peu étrange. On est disposé à se demander comment un besoin d'engrais peut être regardé comme une propriété naturelle de la plante, puisque, dans l'état de nature, il ne peut pas être question d'une fumure dans le sens que nous donnons à ce mot. Néanmoins nous pouvons penser que telle ou telle plante éprouve, à certaines périodes de son développement, un fort besoin d'éléments nutritifs, qu'elle était à même de satisfaire dans l'état spontané de la végétation primitive, parce qu'elle était entourée de plantes d'une autre espèce qui n'avaient pas les mêmes exigences d'éléments nutritifs, et parce que, précisément à ce moment, elle pouvait, grâce à un fort développement de ses racines, utiliser le terrain occupé par ses voisines : une corrélation entre le besoin d'éléments nutritifs et le développement des racines est en effet admissible. De cette façon, ce que j'appellerai dans la suite besoin d'engrais peut être, comme je le prouverai plus tard, une propriété qui non seulement peut être

inhérente à la plante dans l'état de nature, mais même lui être utile[1]. Dans l'état de culture, quand le champ est couvert de plantes de la même espèce, la nécessité d'une nourriture plus intense qu'éprouvent simultanément tous les individus peut seulement être satisfaite si le champ a été fumé dans cette prévision. Ainsi donc nous pouvons admettre qu'un besoin plus fort d'aliments, occasionné de temps en temps par la nature de la plante, se manifeste dans la culture comme besoin d'engrais, et nous pouvons également supposer que ce besoin naturel d'engrais est intimement lié à la faculté possédée par la plante d'utiliser l'engrais qui lui est donné pour augmenter la production de substance végétale.

Ce que Wagner et Drechsler ont reconnu chez différentes plantes culturales comme besoin d'engrais et ce qu'ils ont pensé devoir être attribué à un moindre développement dans le pouvoir d'absorption est donc vraisemblablement, au sens littéral du mot, un besoin d'engrais dans lequel il faudrait peut-être voir une propriété naturelle de certains groupes de plantes accrue par la culture.

Cette manière de voir a fait naître une question à laquelle l'agriculteur doit répondre en première ligne, à savoir : à quelles particularités dans la croissance de nos plantes culturales faut-il attribuer la différence de leur besoin d'engrais ? La réponse à cette question m'a paru être de la plus grande importance ; une fois qu'elle sera obtenue, elle fournira mainte indication importante pour la position de nouvelles questions et pour de nouveaux essais. Comme il a déjà été dit, la conjecture qui se présenta la première fut que la clef du problème devait être cherchée dans la marche suivie par l'absorption des principes nutritifs et dans le développement du système radiculaire. Une lecture rapide des ouvrages que j'avais sous la main me confirma dans cette vue, de sorte que, dans la séance du 4 mai 1886 de la Société de Iéna pour l'avancement des sciences médicales et naturelles, je pus déjà émettre, comme un nouveau progrès dans la théorie des engrais, la proposition suivante :

Le besoin d'engrais des plantes culturales dépend non seulement de la relation entre la quantité d'éléments nutritifs contenus dans le

1. Importance des semailles de graines mélangées.

sol et la récolte, mais encore de la marche suivie par l'absorption de ces éléments et le développement qualitatif du système radiculaire pendant cette absorption.

Différentes circonstances ne me laissèrent pas le loisir de faire connaître au public sur quelles bases cette proposition était fondée ; je pus seulement, après un intervalle d'un an, reprendre mes études sur cette question. Le gouvernement grand-ducal m'ayant confié, le 1er avril 1887, la direction d'un laboratoire agricole, il était naturel de remettre la publication de mon travail jusqu'au moment où j'aurai pu, par des expériences personnelles, compléter une des nombreuses lacunes qui s'y trouvent. Pour ces motifs, on m'excusera si j'indique seulement aujourd'hui sur quels fondements repose la proposition ci-dessus.

Quand on fait des essais pour établir clairement la marche suivie par une plante dans l'absorption des principes nutritifs, on arrive bientôt à la conviction qu'on peut seulement se rendre compte de ce phénomène, en l'étudiant dans ses rapports avec la production de la plante en substance sèche ou en substance organique. A certains égards, cette production a lieu, dans toutes les plantes, d'après un mode à peu près uniforme. Avec la faible surface de ses feuilles, la plantule ne peut pas décomposer autant d'acide carbonique que la plante plus âgée ; c'est pourquoi dans la jeunesse il se forme toujours beaucoup moins de substance organique que plus tard ; et ultérieurement, vers la maturité de la graine, la production de la substance organique diminue de nouveau, pour cesser complètement quand la plante est mûre. Cependant les choses ne se passent pas toujours de cette façon : chez les plantes sarclées, par exemple, la première période est très longue ; chez d'autres, elle est beaucoup plus courte. Dans la dernière période aussi, la diminution de la production de substance sèche s'opère également de différentes manières ; elle est à peine visible chez les plantes sarclées, quand elles conservent toutes leurs feuilles, tandis qu'elle est très frappante chez les céréales. Jusqu'à un certain degré, cette courbe de végétation doit toujours être reconnaissable dans la marche suivie par l'absorption des éléments nutritifs ; l'importance spéciale des courbes de cette dernière peut donc seulement être appréciée

si l'on sait quelle est la courbe décrite simultanément par la végétation.

Mais d'après les nombreuses recherches de Hellriegel [1], il faut admettre des relations directes entre la production de substance sèche d'une part et l'évaporation de l'eau par les feuilles, ou plutôt l'absorption dans le sol d'une solution d'éléments nutritifs, à l'aide des racines d'autre part. Jusqu'à un certain degré qui, sans nul doute, diffère selon les conditions, l'absorption des principes nutritifs est donc une fonction de la production de substance sèche. Or, si en prenant deux végétaux différents nous trouvons que, chez l'un, l'absorption des éléments nutritifs suit un cours parallèle [2] à celui de la production de matière sèche, tandis que l'autre, pendant sa végétation, a une période durant laquelle l'absorption de principes nutritifs dépasse régulièrement la formation de matière sèche, on a tout lieu de supposer que ce fait exerce une certaine influence sur le besoin d'engrais des deux plantes. Toutes conditions égales d'ailleurs, il est naturel de conjecturer que le deuxième végétal, pour pouvoir se développer normalement, doit pendant cette période d'un plus grand besoin d'éléments nutritifs, avoir à sa disposition dans le sol une plus grande réserve d'aliments ou une plus grande quantité de principes nutritifs facilement assimilables que le premier. En d'autres termes, cela signifie : le deuxième végétal est probablement capable d'utiliser mieux que le premier une fumure composée d'éléments nutritifs facilement solubles. *A priori,* il s'agit ici seulement d'une possibilité, car on sait que les plantes absorbent les aliments qui leur sont nécessaires, non seulement sous forme d'une solution toute faite, mais qu'elles préparent elles-mêmes cette solution à l'aide des sécrétions de leurs racines aux endroits où le chevelu est en contact immédiat avec les particules du sol. Mais si, en comparant différentes plantes ayant un besoin de fumure connu, nous arrivons à ce résultat qu'une période d'absorption relativement intense correspond régulièrement à un besoin de fumure également fort, l'étude de la

1. *Beiträge zu den naturwissenschafftlichen Grundlagen des Ackerbaues.* Braunschweig, 1883, p. 452 et suiv., p. 662 et 664.

2. Naturellement ce mot n'est pas employé ici dans son sens rigoureux.

marche suivie par l'absorption des éléments nutritifs nous permettra de nous guider avec assez de certitude dans les cas où il s'agit d'un besoin de fumure encore indéterminé. Nous aurions ainsi fait un pas immense, car les résultats d'un essai de fumure sont tellement incertains qu'il est, comme on sait, énormément difficile, coûteux et long de recueillir les éléments nécessaires pour des conclusions solides. Et encore est-il toujours permis de se demander quelle est la valeur de ces conclusions, pour d'autres circonstances ou d'autres années. La connaissance de la marche de l'absorption des principes nutritifs ne nous dispenserait certes pas de faire des essais de fumure, mais grâce à elle, ces essais auraient en vue des questions plus précises, et l'interprétation de leurs résultats offrirait moins de doutes.

Ces considérations m'ont démontré la nécessité d'étudier systématiquement les nombreux ouvrages traitant de la marche de l'absorption des éléments nutritifs ; je crois les connaître maintenant sinon tous, au moins le plus grand nombre, et dans ce que je vais exposer, j'ai utilisé tous ceux que je n'ai pas été forcé d'exclure à cause des erreurs évidentes commises par suite de la mauvaise méthode employée dans les essais. Mon travail présente néanmoins bien des imperfections, bien des lacunes qui, je l'espère, seront vite comblées dès qu'on en aura reconnu la nécessité.

Mais dussions-nous avoir plus tard une connaissance plus exacte de la marche de l'absorption des éléments nutritifs que celle qui pourra résulter de mon travail, il faudra cependant nous rappeler que cette marche peut seulement nous fournir *une* raison de la différence dans le besoin d'engrais, de même que le besoin absolu d'éléments nutritifs chez une plante nous fournit non pas la raison, mais seulement *une* des raisons de cette différence. Outre la quantité absolue d'éléments nutritifs que la récolte enlève au sol et outre la relation entre l'absorption d'éléments nutritifs et la production de substance organique, d'autres facteurs également importants concourent certainement à faire naître chez nos plantes culturales cette diversité dans le besoin d'engrais. Voici notamment les facteurs qui me semblent importants : 1° l'époque de l'absorption, car il faut admettre en tout cas que la plante parvient plus difficilement à se procurer les éléments nutritifs nécessaires, si cette absorption

doit avoir lieu en automne ou au printemps, que si une haute température de l'air et du sol favorise la décomposition, que celle-ci doive être ramenée à des réactions chimiques ou à l'activité de certains organismes. De même un moindre pouvoir dissolvant sera nécessaire aux racines pour satisfaire le besoin d'éléments nutritifs chez la plante dans le cas où une forte absorption d'eau a eu lieu par suite d'une haute température estivale, que dans le cas contraire.

2° La durée de l'absorption; car, plus grand sera l'espace de temps sur lequel se répartit l'absorption d'une certaine quantité d'éléments nutritifs, plus faible sera la quantité nécessaire d'éléments facilement solubles. De cette durée dépendra souvent la question de savoir si nous devons employer la fumure d'étable qui se décompose lentement ou des engrais de commerce plus facilement solubles, comme aussi celle de savoir si nous devons assigner à la plante une place dans la série des récoltes et surtout si nous pouvons cultiver avant elle une autre plante qui épuiserait le sol en matières facilement solubles, par conséquent plus vite assimilables.

La quantité et la conformation des racines jouent en tout cas un rôle important, car une plante avec un système radiculaire fortement développé, enlève les éléments nutritifs sur un plus grand espace qu'une plante à système radiculaire peu développé. La première pourrait donc probablement enlever à un sol pauvre la même quantité d'éléments nutritifs que la dernière. Il est évident que les quantités de racines des divers genres, des diverses espèces et variétés de plantes ne peuvent pas toujours être comparées entre elles, si l'on songe à la différence morphologique des racines du trèfle et du blé ou du colza et du chou-rave (je cite ces deux dernières comme variétés de la même famille). En comparant les quantités de racines, il faut aussi se rappeler cette circonstance que la même forme végétale développe son système radiculaire de différentes manières, selon la nourriture qui lui est offerte. Si les principes nutritifs font défaut, les racines deviennent plus minces et plus longues, de sorte que l'espace de terrain utilisé est plus grand que dans le cas contraire. Mais, à l'état de culture, où les plantes de même espèce sont serrées les unes contre les autres, cette adaptation est certes d'une utilité moindre qu'à l'état de nature où elle a assurément une plus

grande importance. D'ailleurs, depuis les recherches de Dietrich et d'autres, il n'y a point de doute que le pouvoir dissolvant des racines de différentes plantes présente encore de plus profondes différences qualitatives ; ainsi Ad. Mayer affirme, par exemple, qu'il a trouvé dans les racines des trèfles, plus d'acides à l'état libre que dans celles des graminées. Cependant ce que nous savons à ce sujet est bien peu de chose.

Si l'on songe à cette série de facteurs qui tous participent à la production d'un besoin d'engrais, on voit qu'il faut encore bien des recherches pour élucider la question dans toutes ses parties. Notre tentative peut donc être considérée seulement comme le premier pas dans l'étude d'une matière encore bien obscure.

Quant à la méthode d'après laquelle on a rapporté les essais de fumure des plantes, nous dirons que, pour arriver à des nombres utilisables séparément, il faut transformer les nombres obtenus par les différents auteurs, de façon à voir quelle proportion centésimale de la plus grande quantité de chaque élément nutritif trouvée dans la plante a été absorbée aux différentes époques.

Mais on pourra seulement embrasser d'un seul coup d'œil le résultat ainsi obtenu, si on le représente graphiquement au moyen de courbes dans un système d'abscisses et d'ordonnées, de façon que l'intervalle des jours de vérification soit marqué par un éloignement latéral correspondant à l'enregistrement, et que le nombre des pour cent des quantités maxima trouvées soit indiqué par la différence des hauteurs à partir de la base du système.

Je conseillerais cette représentation à toute personne qui s'occupera de la marche suivie par l'absorption des principes nutritifs, car elle est la plus propre à reconnaître les fautes commises et à les écarter par la répétition des recherches. Une comparaison des tableaux des courbes de différents essais faits avec la même plante montre ensuite facilement où il faut chercher ce qui est similaire, c'est-à-dire caractéristique. C'est dans le résumé des résultats de différents essais que se trouve la difficulté principale à surmonter, car presque chaque essai présente quelques particularités dans le choix des échantillons examinés.

Tel expérimentateur a rentré et analysé régulièrement une récolte

chaque semaine, tel autre tous les huit ou quinze jours, un troisième a choisi des périodes de végétation déterminées. L'un a travaillé en prenant une espèce à végétation de courte durée, un autre en prenant une espèce à végétation de longue durée ; ici l'essai a cessé plus tôt, là plus tard, etc. Impossible de trouver un plan d'après lequel on pût procéder de la même manière pour toutes les plantes culturales. Je n'ai pu que réfléchir mûrement dans chaque cas particulier comment on pourrait, en se basant sur des essais souvent nombreux, obtenir un résultat qui correspondît le mieux à chaque essai pris à part. C'est au lecteur à juger si j'ai réussi ; je serai ravi si d'autres arrivent à proposer de meilleures méthodes. Je tiens seulement à prévenir l'objection qu'il eût peut-être été préférable de ne pas entreprendre du tout la combinaison d'essais différents ; sans elle on n'aurait obtenu aucun résultat clair.

Il en est de même toutes les fois qu'on calcule une moyenne ; on trouve des écarts en plus et en moins ; bien plus, un seul écart considérable, dont on ne connaît pas la raison, et que l'on n'a pas le droit d'éliminer pour ce motif, nuit quelquefois beaucoup à la confiance qu'on peut avoir dans la moyenne obtenue ; en présence du petit nombre des essais, il ne peut pas être question d'égalisations d'après la loi des grands nombres. J'avais, il est vrai, tenté d'arriver d'une autre manière à une représentation nette des résultats, sans prendre arbitrairement un seul essai comme type et en lui assignant ainsi une plus grande importance qu'il ne lui en revient, relativement aux résultats des autres essais, mais cette tentative m'a encore moins satisfait que le calcul des moyennes auquel je me suis arrêté, par la simple raison qu'un tel procédé ouvre trop la carrière à des tendances personnelles.

En attendant, je suis fondé à croire que la forme de calcul adoptée est celle qui offre le plus de clarté. Cependant je considère les courbes des tableaux annexés uniquement comme l'expression des probabilités résultant des essais publiés jusqu'ici, et je renvoie au texte qui a trait à chacun d'eux pour ce que j'y trouve à contredire et à objecter. Enfin j'ai cru inutile de joindre tous les calculs des travaux originaux, car celui qui veut s'occuper plus spécialement des détails aura recours à ces travaux, et celui qui n'a pas cette

intention pensera que le nombre des tableaux annexés est déjà bien suffisant.

Nous allons maintenant considérer les différentes plantes culturales en commençant par les céréales, au sujet desquelles nous possédons le plus grand nombre d'essais.

CÉRÉALES

A. — Orge d'été.

Sur la marche du développement de l'orge nous possédons :

1° Les travaux de Scheven (*Erdmann's Journal für praktische Chemie,* vol. 68, p. 193) qui, en 1855, a fait à Möckern des recherches sur l'orge à 5 différents degrés de développement et a calculé, d'après les résultats de ses études, la quantité de principes nutritifs enlevés au sol, pendant ces périodes, par les parties aériennes de cette plante. La végétation sur son champ d'expérience (champ de trèfle faiblement fumé) a été vigoureuse, la relation entre le grain et la paille au moment de la maturité a été normale, car les grains constituaient 35.6 p. 100 de la masse totale de la récolte [1]. Par suite d'une température humide et chaude le rendement (39.4 quintaux) de substance sèche par arpent a été très élevé. La substance aérienne seule a servi dans les recherches ;

2° Des essais de Stöckhardt (*Tharander Jahrbuch,* Neue Folge III, p. 287). L'orge a reçu différents engrais, a souffert en juin de la trop grande humidité, s'est plus tard couchée très fortement. Pour cette raison Stöckhardt considère seulement comme normale la végétation de la parcelle non fumée ; la récolte de cette dernière seule a donc pu servir, après examen des résultats obtenus, au but que nous nous proposons. Malheureusement nous n'avons ici que des observations concernant la production de substance sèche et de substance azotée, mais elles se rapportent aux racines aussi bien qu'aux parties aériennes ;

---

1. Kleemann (*Encyclopédie,* 1844, p. 62) regarde comme un fait normal que sur un champ fertile les grains constituent 35.7 p. 100 de la récolte totale de l'orge.

3° Six essais faits par Wolff, de 1855 à 1857, avec de l'orge de Jérusalem, de l'orge de Chevalier et de l'orge-annate écossaise (*Mittheilungen aus Hohenheim*, v. p. 230 et suiv.). L'essai fait avec l'orge de Jérusalem de 1857 doit être éliminé du calcul p. 100, parce que le poids de la récolte n'a pas été déterminé à l'époque de la maturité ; les 5 autres essais peuvent servir. Mais il faut remarquer que l'orge de 1856 a produit à peu près 10 quintaux de substance sèche de moins que celle de 1857. Il est regrettable que l'époque de l'examen, marquée par l'apparition des épis, soit un peu tardive ; c'est pourquoi ces recherches ne nous offrent aucun renseignement sur la relation entre la production de substance organique et l'absorption de principes nutritifs pendant les premières semaines de la végétation. Les recherches portent seulement sur les organes aériens, mais elles fournissent des renseignements sur tous les éléments chimiques importants de la plante ;

4° L'essai de culture d'orge fait par Fittbogen en 1868 à Dahme (*Landw.-Versuch. Stat.* XIII, p. 81). Dans cet essai les plantes ont été élevées dans le sol avec une solution d'éléments nutritifs, et on a peut-être le droit d'admettre que des plantes nourries de cette manière absorbent les aliments un peu plus rapidement que si elles poussaient en plein champ. Les recherches ont été accomplies dans cinq périodes de développement différentes et elles ont une valeur particulière, parce que la manière dont l'orge a été cultivée en ce cas-ci nous garantit, mieux que les autres essais, que nous avons affaire ici à des plantes ayant crû toutes dans les mêmes conditions de nutrition, quoique récoltées à des époques différentes. Les recherches ont porté séparément sur les parties aériennes et sur les racines ;

5° Quatre essais de culture de Hoffmeister-Insterburg (*Landw. Jahrb.*, v. p. 717) dans lesquels on a employé des fumures diverses ; les plantes ont été examinées dans huit périodes de développement différentes ; dans cet examen on a déterminé la substance sèche et les principes minéraux, quelquefois aussi l'azote. Malheureusement les échantillons ont été fort peu nombreux, à savoir : 24 plantes au commencement, et plus tard 12 seulement ; or, il n'a pas dû être facile de bien choisir ces représentants d'un champ. Voilà ce qui implique

quelques impossibilités, qui m'ont fait hésiter à me servir de ce travail. Comme preuve, je cite ici les résultats des déterminations de substance sèche par plante, tels que Hoffmeister les donne p. 724.

NUMÉRO de la parcelle.	26 mai.	3 juin.	10 juin.	17 juin.	24 juin.	2 juill.	16 juill.	23 juill.
I.	»	»	0,595	1,380	2,070	3,266	**8,566**	6,400
II.	0,0179	0,1035	0,448	0,906	1,113	1,860	1,980	**5,300**
IV.	0,0294	0,1182	0,420	1,110	1,332	2,400	3,326	4,266
VI.	0,0253	0,0912	0,396	1,070	1,472	3,860	4,740	**10,666**

Je ne croirai jamais que la nature fasse des sauts pareils à ceux qui sont indiqués par l'augmentation en poids pendant la maturation, telle qu'elle résulte des trois chiffres soulignés[1]. Comme ces chiffres, d'après les indications analytiques de Hoffmeister, ne proviennent pas de fautes commises dans le calcul, ils sont peut-être le résultat du trop petit nombre de plantes prises comme échantillons.

Ajoutons à cela que, le 23 juillet, les plantes pouvaient bien n'avoir pas été tout à fait mûres, ce que je suis disposé à conclure de ce fait que, d'après les indications de Hoffmeister, les épis se sont seulement développés le 2 juillet. La floraison peut avoir eu lieu à peu près une semaine plus tard et il reste ensuite 14 jours, temps un peu court pour le développement et la maturation des grains, qui exigent ordinairement 3-4 semaines.

La supposition que la récolte du 23 juillet n'indique pas la maturité complète est encore corroborée par la faible teneur centésimale en substance sèche de la récolte des parcelles I, IV et VI, tandis que la parcelle II non fumée semble avoir été mûre. A proprement parler le résultat de la parcelle IV est le seul qui puisse servir. Je dois cependant ajouter que les nombres des trois autres séries d'essais — abstraction faite des trois chiffres soulignés qu'il faut rejeter comme étant faux — conduisent à des nombres relatifs concordant parfaitement avec les résultats de la série IV aussi bien qu'avec tous les autres résultats. Si je n'en tiens pas compte dans le calcul des moyennes,

1. En caractères gras.

cela n'est donc pas parce que leurs résultats étaient en désaccord avec les autres. De plus, malgré les résultats finaux très vraisemblablement faux, les essais de Hoffmeister ont cependant une grande importance pour le but que nous nous proposons, car si la faute commise dans le choix des échantillons exerce une influence fâcheuse sur les différentes courbes qui expriment ces résultats, elle n'affecte nullement ou du moins n'altère que faiblement la relation qui existe entre la courbe de la substance sèche et celle des principes minéraux. Si l'on considère uniquement cette relation, qui est le point le plus important de nos recherches, les résultats obtenus par Hoffmeister et consignés dans les tableaux ci-dessous — abstraction faite de la marche extraordinaire de l'augmentation en substance sèche — conduisent aux mêmes conclusions que les autres essais.

Les représentations graphiques de toutes les recherches citées, indiquant la marche suivie par l'absorption des principes nutritifs et la production de la substance sèche organique, surtout dans les parties aériennes, présentent toutes ce caractère commun, qu'au commencement du développement, l'absorption des principes nutritifs est relativement bien plus forte que la production de substance organique. Cela continue ainsi jusqu'à l'époque de l'épiage pour suivre ensuite une marche contraire. Pour représenter par des nombres la proportion existant dans les premières semaines de la végétation de l'orge, entre l'absorption des principes nutritifs et la production de substance sèche, on peut procéder de diverses manières.

En voici une, par exemple. Il s'agit de déterminer la relation existant entre la production de substance organique d'une part et l'absorption des principes nutritifs d'autre part, à un certain moment antérieur au commencement de l'épiage. Les essais de Scheven, Fittbogen et Hoffmeister nous fourniront les matériaux nécessaires à cette détermination ; nous réunirons donc les résultats auxquels ils sont arrivés relativement à la période de développement en question. Nous obtiendrons la moyenne la plus exacte si nous indiquons ce qui caractérise les conditions de la croissance avant l'épiage ; nous grouperons donc les nombres obtenus dans ces essais de la façon suivante :

Tableau.

A. — Avant l'épiage.

	DATE.	TEMPS écoulé depuis le lever de la semence.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.								
1. Essai de Scheven	28 juin.	21	19.8	18.7	35.7	17.5	45.5	61.4	33.8	38.6
2. Essai de Fittbogen, moyenne des essais V, VI.	27 mai.	16	19.1	18.0	51.0	73.0	88.8	35.0	43.8	46.2
3. Essais de Hoffmeister. Essai I.	13 juin.	29	11.5	»	30.2	»	»	»	»	»
4. Moyenne des résultats. — II.	13 juin.	29	12.8	»	31.6	»	»	»	»	»
5. du 10 et du 17 juin. — IV.	13 juin.	29	17.9	»	32.9	»	»	»	»	»
6. — — — VI.	13 juin.	29	6.9	»	20.6	»	»	»	»	»
Moyenne de 1 et 2.	»	19	19.4	18.3	43.0	60.2	67.1	48.2	38.8	42.4
Moyenne de 1 et 6.	»	25	14.7	»	34.7	»	»	»	»	»

Ce qui nous importe le plus dans ces nombres, c'est la concordance dans la proportion entre la substance organique sèche et les éléments minéraux, dans la moyenne de 1 et 2 d'une part et dans celle de 1-6 d'autre part. Dans le premier cas nous avons pour 100 parties de substance organique sèche 223 parties de principes minéraux, et dans le second pour 100 parties de substance sèche 237 parties de principes minéraux.

Si cette proportion est ainsi égale, nous avons le droit de penser qu'il en est de même pour les différents éléments constitutifs des principes minéraux, au sujet desquels nous avons seulement des indications par les deux premiers essais, et dont les résultats méritent donc une plus grande confiance qu'il ne serait possible de leur en accorder, si les résultats de Hoffmeister n'existaient pas.

Si cela ne peut pas renverser l'opinion déjà émise plus haut, d'après laquelle l'absorption des principes nutritifs se fait plus rapidement dans les essais de Fittbogen qu'en plein champ, nous n'avons cependant pas à craindre, en présence des essais de Hoffmeister et de Scheven, que nous nous écartions beaucoup de la vérité. Ce qui caractériserait donc l'époque antérieure à l'épiage, c'est que, dans la partie aérienne de l'orge, l'absorption de tous les principes nutritifs importants dépasse relativement de beaucoup la production de

substance organique. D'après les deux essais ci-dessus, celle-ci serait à l'absorption pour :

Potasse dans la proportion de	. . . .	100 : 367
Azote —	. . . .	100 : 329
Chaux —	. . . .	100 : 263
Acide phosphorique —	. . . .	100 : 232
Magnésie —	. . . .	100 : 212

Maintenant nous avons à exposer la marche de l'absorption des principes nutritifs dans les semaines suivantes jusqu'à l'épiage, c'est-à-dire jusqu'à l'apparition de la pointe des épis. Les renseignements sur cette question se trouvent dans le tableau suivant :

B. — Époque de l'épiage.

	DATE.	TEMPS écoulé depuis le lever de la semence	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	ÉLÉMENTS minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.								
1. Scheven, moyenne entre.	28 juin 17 juill.	31	44.4	43.7	57.1	71.0	72.7	80.7	51.3	56.1
2. Wolff. Orge de Jérusalem.	13 juin 1856	66	39.5	37.8	68.7	73.8	100.0	88.9	75.8	71.8
3. — Orge Chevalier. .	15 juin 1857	70	55.0	53.8	68.7	83.0	100.0	72.6	58.4	62.5
4. Fittbogen.	2 juin	21	29.7	28.5	65.9	93.5	99.5	50.3	65.0	62.7
5. Wolff. Orge de Jérusalem.	16 juin 1855	»	24.4	23.4	45.6	44.9	»	»	»	»
6. — Orge Annat. . . .	16 juin 1855	»	31.5	30.6	49.5	53.5	»	»	»	»
7. — Orge Chevalier . .	13 juin 1856	66	47.8	46.8	60.2	67.0	»	»	»	»
8. Stöckhardt	1 juillet	31	30.9	»	»	53.9	»	»	»	»
Moyenne de 1-5.	»	47	42.1	40.9	65.1	83.0	93.0	73.1	62.6	63.3
Moyenne de 1-7.	»	51	38.9	37.8	59.4	70.0	»	»	»	»
Moyenne de 1-8.	»	47	37.9	33.8	»	67.6	»	»	»	»
Moyenne totale	»	47	37.9	36.8	59.4	67.6	93.0	73.1	62.2	63.3

D'après cela nous trouvons de nouveau, comme dans le tableau A, que l'absorption des principes nutritifs dépasse de beaucoup la production de substance organique. Mais nous sommes fondé à admettre que ce fait se présente particulièrement dans la première moitié du temps qui s'écoule jusqu'à l'épiage et nous pouvons nous en rendre compte surtout en comparant directement les essais de Scheven, Fittbogen dans les périodes désignées par A et B. Le résultat de cette

comparaison est que, dans l'intervalle entre A et B, il a été absorbé ou produit en centième, des quantités maxima :

Substance organique	19.0
Éléments minéraux	18.2
Azote	22.0
Potasse	19.0
Chaux	17.3
Magnésie	19.3
Acide phosphorique	17.0

Évidemment donc, dans ces deux essais — et il en a été à peu près de même dans les essais de Hoffmeister — il y a eu à peu près, dans l'intervalle de A à B, parallélisme entre la production de substance organique et l'absorption de principes nutritifs, et nous pouvons admettre que les choses se sont passées de même dans tous les autres essais.

Les changements dans le rapport entre l'absorption des éléments nutritifs et la production de substance sèche qui, d'après cela, ont été observés dans la dernière période qui a précédé l'apparition des épis, continuent ensuite dans le même sens. A l'époque de l'épiage, la production de la substance organique dépasse donc l'absorption des éléments nutritifs qui va en diminuant, quoiqu'elle soit encore assez forte. Ensuite celle-ci atteint, tantôt plus tôt, tantôt plus tard, à peu près à la fin de l'époque de la floraison ou au moment où l'ovaire se transforme en fruit, un point à partir duquel certains principes sont absorbés en quantité insignifiante, d'autres presque pas du tout, et où il peut même se produire une diminution dans la teneur absolue en principes nutritifs, si la température favorise la mort et la décomposition des feuilles ainsi que des pousses latérales. De là vient que, dans les recherches entreprises pendant le temps de la maturité, on se trouve en présence tantôt d'une diminution, tantôt d'une augmentation légères et irrégulières. Pour obtenir une représentation moyenne, correspondant autant que possible à la réalité, de la relation entre l'absorption et la production en question vers la fin de la période de la floraison, ou bien au commencement du développement du grain de semence, on a réuni, dans le tableau suivant, les indica-

tions d'après lesquelles nous trouvons de 70 à 90 p. 100 de la quantité maximum de substance sèche.

C. — Orge à l'époque de la floraison [1].

	DATES.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	ÉLÉMENTS minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.								
1. Scheven, moyenne entre.	17-30 juill.	17	76.5	76.3	51.6	96.2	(92.7)	(97.4)	73.1	14.0
2. Wolff. Orge de Jérusalem.	5 juill. 1856	22	79.7	78.5	100.0	72.8	(83.7)	100.0	100.0	99.0
3. — Orge Chevalier. .	5 juill. 1856	22	89.2	88.8	94.1	68.1	64.7	100.0	100.0	93.0
4. — — — . .	4 juill. 1857	19	87.9	86.5	100.0	88.0	(99.9)	100.0	100.0	79.4
5. Fittbogen, moyenne entre	16-24 juin	18	80.2	80.0	88.6	(97.0)	(86.0)	86.1	92.5	88.3
6. Wolff. Orge écossaise . .	5 juill. 1855	19	71.5	70.2	96.1	76.4	»	»	»	»
7. Stöckhardt	27 juillet	26	78.2	»	»	88.3	»	»	»	»
Moyenne de 1-5	»	20	82.7	82.0	86.9	84.4	diminution commence	96.7	93.1	86.8
Moyenne de 1-6	»	20	80.7	80.0	88.4	83.1	»	»	»	»
Moyenne de 1-7	»	20	80.3	»	»	83.8	»	»	»	»
Moyenne totale	»	20	80.3	80.0	88.4	83.8	diminution commence	96.7	93.1	86.8

Nous hésitons à résumer ces indications de façon à obtenir des nombres moyens, surtout parce que çà et là, principalement pour la potasse, nous observons une marche rétrograde. Pour cette raison, les nombres auxquels cette observation s'applique ont été mis entre parenthèses et n'ont pas servi du tout à établir le diagramme moyen pour la potasse. D'après ce qui a été dit plus haut du but de la représentation graphique, il m'a semblé qu'il était permis de procéder de cette façon et de prolonger la courbe de la potasse jusqu'au point 100 avant la période G. On ne peut donc pas baser la descente ultérieure de cette courbe sur le nombre moyen de la période G, parce que celui-ci est composé, en partie de nombres qui n'ont pas encore atteint le point 100, et d'autres qui, après l'avoir atteint, sont déjà en train de diminuer. C'est pourquoi la courbe de la potasse peut dans la suite être seulement déterminée par le point indiqué à l'époque de la maturité.

---

1. Les chiffres entre parenthèses appartiennent à la branche descendante de la courbe.

Si nous comparons entre eux les résultats moyens des périodes B et C, il s'en dégage les accroissements suivants dans les taux p. 100 des quantités maxima.

Substance organique	43.2
Principes minéraux.	29.0
Azote	16.2
Potasse	Diminution
Chaux.	23.6
Magnésie.	30.5
Acide phosphorique.	23.5

La plus grande augmentation relative, c'est-à-dire proportionnellement à la production de substance organique, se trouve donc dans la période de l'épiage et de la floraison pour la magnésie, mais elle est encore bien inférieure à la production de substance organique. L'augmentation relative de l'absorption d'acide phosphorique, de chaux et d'azote est encore moindre, tandis que l'absorption de potasse a déjà complètement cessé dans la plupart des essais, et que la quantité existant dans la plante diminue de nouveau. Le rapport entre l'absorption d'éléments nutritifs et la production de substance organique est donc absolument renversé, en comparaison de la première période de végétation.

D. — Orge à l'époque de la maturité.

	DATES.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.								
1. Scheven	21 août	22	100.0	100.0	100.0	100.0	62.4	66.4	(58.7)	100.0
2. Wolff. Orge de Jérusalem.	29 juill. 1856	24	100.0	100.0	96.3	100.0	62.9	93.3	89.6	100.0
3. Wolff. Orge Chevalier.	1er août 1856	27	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	74.2	77.5	100.0
4. Wolff. Orge Chevalier.	24 juill. 1857	20	100.0	100.0	87.8	100.0	71.7	64.0	95.8	100.0
5. Fittbogen.	16 juillet	22	100.0	100.0	100.0	97.5	76.3	100.0	95.5	100.0
6. Wolff. Orge de Jérusalem.	4 août 1855	30	100.0	100.0	100.0	100.0	»	»	»	»
7. Wolff. Orge écossaise	4 août 1855	30	100.0	100.0	100.0	100.0	»	»	»	»
8. Stöckhardt.	23 août	27	100.0	100.0	»	100.0	»	»	»	»
Moyenne.		24	100.0	100.0	97.7	99.6	74.7	79.6	89.6	100.0

A propos de la dernière période, nous observerons simplement que pendant le développement des grains la production de substance organique continue dans des proportions un peu plus faibles et que la masse de l'azote ainsi que celle de l'acide phosphorique (la première dans la plupart des cas, la seconde dans tous les cas examinés) augmente encore à peu près dans la même mesure que dans la période antérieure. Quant aux autres principes nutritifs, ils ne sont plus absorbés du tout, ou le sont rarement ; au moment de la décomposition des parties mourantes de la plante, ils sont, au contraire, enlevés et restitués au sol en quantité notable ; la potasse l'est même en quantité très considérable. D'après cela la plante mûre est, dans la plupart des cas, plus riche en azote et en acide phosphorique, mais plus pauvre en potasse, chaux et magnésie, qu'elle ne l'était à l'époque de la floraison. Si l'on veut exprimer par des nombres la proportion entre l'augmentation en substance organique et l'absorption des principes nutritifs dans la dernière période, on comparera les valeurs moyennes pour les périodes C et D et on trouvera, en centièmes, des quantités maxima :

Substance sèche	+ 19.7
— organique	+ 20.0
Principes minéraux	+ 9.3
Azote	+ 15.8
Acide phosphorique	+ 13.2
Potasse dans les deux dernières périodes, ensemble	— 25.3
Chaux	— 17.1
Magnésie [1]	— 3.5

Ce que nous avons dit jusqu'ici de la quantité de principes nutritifs absorbée par l'orge se rapporte seulement à la partie aérienne de la plante. Mais comme il est très possible que cette absorption suive un tout autre cours si on considère la plante en son entier et si l'on tient compte des racines, il faut chercher quelles modifications il faut faire subir à notre exposé pour qu'il s'applique à la plante entière. Pour cette recherche il faudra nous appuyer sur les travaux

1. Nous n'avons pas tenu compte ici du résultat de l'essai de Scheven, parce qu'il semble trop invraisemblable que, dans une période de 13 jours, il y ait eu réellement une perte de 41.3 p. 100.

de Stöckhardt, Fittbogen et Hoffmeister, qui ont examiné séparément les organes aériens et les racines.

Nous remarquons, dans ces travaux, que les racines de l'orge augmentent en grosseur jusqu'à l'épiage ou jusqu'à la floraison, qu'elles dépérissent ensuite et perdent une quantité notable de leur substance. De même que la partie aérienne, elles sont plus riches en matière minérale pendant la jeunesse que dans les périodes ultérieures de la végétation. Cette propriété, commune à toutes les céréales, permet de conclure que les racines même des céréales annuelles ont une certaine importance comme réserve dans laquelle sont déposées, dans la jeunesse de la plante, des provisions qui plus tard profiteront à la partie aérienne. Au reste, le résultat auquel nous sommes déjà arrivés en examinant la partie aérienne de l'orge, à savoir que dans la jeunesse elle absorbe relativement des quantités très considérables d'éléments nutritifs, est également obtenu quand on examine la plante totale. On s'en convaincra en jetant un regard sur le tableau contenant les résultats des différentes recherches et encore mieux si, à l'aide des chiffres contenus dans ce tableau, on calcule le rapport existant dans les différentes périodes entre la substance organique formée et les divers éléments nutritifs. Il me semble inutile de citer ici les résultats de ces calculs, parce que les nombres que nous possédons actuellement ne sont pas en quantité suffisante pour que nous puissions attacher de l'importance aux petites différences qu'ils présentent.

Nous nous rendrons encore mieux compte de tout le cours de l'absorption des principes nutritifs et de la production de substance organique, dans la végétation de l'orge, en plaçant les uns à côté des autres les résultats moyens obtenus. Seulement, en examinant eux-mêmes ou leur représentation graphique, nous devons toujours nous rappeler que ce que nous avons sous les yeux ne peut et ne doit être qu'un exposé des faits généraux tels qu'ils se sont passés dans les essais dont il est question. Ces essais, pris chacun séparément, nous offrent à peu près les mêmes données que notre tableau des moyennes et nous acquérons ainsi la preuve que celui-ci, dans ses traits principaux, est typique pour l'orge. Il conserve ce caractère malgré les écarts que nous y rencontrons et que nous n'avons pas

cherché à dissimuler ; d'après ce que nous avons dit, ils peuvent, avec beaucoup de vraisemblance, être considérés comme la conséquence de quelques erreurs commises dans les recherches. La tâche que doivent se proposer les futurs observateurs devra avant tout consister à établir expérimentalement quelle action exerce sur la marche des courbes la différence d'engrais, de sol, de climat et de variétés. Les essais faits jusqu'ici ne nous fournissent sur cette question que des renseignements peu nombreux et peu certains.

Moyenne des résultats obtenus dans les essais sur la marche de l'absorption des éléments nutritifs en centièmes des quantités maxima.

	DATES.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.								
A. Avant l'épiage.	5 juin	19	20.3	19.0	41.2	45.6	74.0	55.8	43.3	46.3
B. Période de l'épiage. . .	3 juillet	28	37.9	36.8	59.4	67.6	93.0	73.1	62.6	63.3
C. Période de la floraison .	23 juillet	20	80.3	80.0	88.4	83.8	»	96.7	93.1	86.8
D. Maturité	16 août	24	100.0	100.0	97.7	99.6	74.7	79.6	89.6	100.0
Idem, le maximum étant = 100 et les autres nombres y étant rapportés.										
A. Avant l'épiage.	5 juin	19	20.3	19.0	42.2	45.8	74.0	57.7	46.5	46.3
B. Période de l'épiage. . .	3 juillet	28	37.9	36.8	60.8	67.9	93.0	75.6	67.2	63.3
C. Période de la floraison.	13 juillet	20	80.3	80.0	90.5	84.1	»	100.0	100.0	86.8
D. Maturité.	16 août	24	100.0	100.0	100.0	100.0	74.7	82.3	96.2	100.0
La production de substance organique est à l'absorption des éléments nutritifs comme 100 :										
Depuis la levée jusqu'à A .	»	»	107	1000	222	241	390	304	245	244
Depuis la période A jusqu'à B	»	»	99	1000	105	124	107	101	116	96
Depuis la période B jusqu'à C	»	»	99	1000	69	38	»	56	76	54
Depuis la période C jusqu'à D	»	»	98	1000	47	79	»	»	»	66

Au sujet de ce tableau, il faut observer qu'en comparant plus haut les périodes A et B, nous avons seulement pu placer l'un à côté de l'autre les essais analogues, parce que nous ne possédons qu'un très petit nombre d'essais se rapportant à A et que, parmi eux, il en est pour lequel nous sommes fondé à admettre que les chiffres relatifs à l'absorption des principes nutritifs sont extraordinairement élevés.

Si alors nous n'avons pas pu placer les nombres de A, directement à côté des résultats finaux de B, nous ne le pouvons pas davantage maintenant, et pour établir un tableau d'ensemble nous avons été obligé d'admettre que les résultats moyens de tous les essais se rapportant à la période B, comparés à ceux de la période A, présentaient des chiffres d'autant plus élevés que les essais de A en présentaient d'inférieurs, si on les compare avec les essais correspondants de la période B. Sans doute, en procédant de cette manière, nous avons fait subir, à quelques résultats de la période A, une modification de plusieurs centièmes, et quoiqu'on ne puisse pas dire que leur probabilité ait été ainsi diminuée, nous ne pouvons cependant pas nous dissimuler que les indications relatives à la période A sont moins certaines que celles relatives aux périodes ultérieures.

En outre, les maxima correspondants ne se trouvent pas au même point pour tous les essais, de sorte que les valeurs moyennes pour les maxima des principes minéraux, de l'azote, de la chaux, de la potasse et de la magnésie se rapprochent à la vérité de 100, mais n'atteignent pas ce nombre. Pour obtenir les éléments nécessaires à une représentation graphique de la marche de l'absorption des principes nutritifs, il faut donc avoir recours à une nouvelle conversion dans laquelle on posera les maxima des résultats moyens égaux à 100 et on rapportera tous les autres nombres à ce chiffre. Autrement les différentes courbes auraient des ordonnées toutes différentes et ne pourraient pas être comparées entre elles.

Bien que je sente les inconvénients de ces conversions, je ne vois pas la possibilité de fixer, par un autre moyen, le sens général de nos essais et, après bien des réflexions, je me suis cru obligé d'y avoir recours, parce qu'elles permettent d'exprimer ce qui a été dit plus haut sur l'absorption des principes nutritifs, plus clairement que ne peut le faire la représentation graphique, tout en n'altérant en rien le rapport réciproque entre les phénomènes particuliers qui doivent être rendus visibles par la représentation graphique.

Mais où nous voyons encore plus clairement, que dans le tableau indiquant la marche de l'absorption des principes nutritifs, ce que ce dernier phénomène présente de spécial dans l'orge, c'est dans le tableau qui nous donne directement le rapport entre la quantité de

matière produite et celle qui est absorbée. Nous pouvons en déduire avec certitude que l'orge réclame en première ligne de notables quantités de potasse, ensuite de chaux, et puis de magnésie, d'acide phosphorique et d'azote. Toutes ces matières, l'orge les réclame énergiquement, surtout dans les premières semaines de la végétation; et, dans les cas où le sol ne les offre pas en abondance, elle nous sera reconnaissante si nous les lui apportons sous une forme où elle puisse les absorber facilement. La diminution dans l'absorption de tous ces principes, relativement à la production de substance organique dans les périodes suivantes, signifie qu'après le commencement de l'épiage une proportion extraordinaire de ces principes sous forme d'engrais direct n'est plus nécessaire. Ce qui veut dire, en d'autres termes, que l'orge peut être peu reconnaissante pour une fumure formé d'engrais se décomposant et se dissolvant lentement, tels que le fumier d'étable, la poudre d'os, etc. Si nous voulons la fumer directement, nous devons donner la préférence à des engrais facilement solubles. On pourrait être tenté de déduire de nos courbes mainte autre conclusion, mais nous pensons que, pour le moment, le but de nos études sur la marche de l'absorption est rempli, si elles nous mettent à même d'expliquer d'une manière scientifique les observations empiriques faites sur la façon dont nos plantes culturales se comportent à l'égard de la fumure. Si cette explication est satisfaisante, je suis certain qu'elle pourra donner lieu à bien des hypothèses capables d'ouvrir de nouvelles voies à la pratique de la fumure.

En outre, les agriculteurs peuvent tirer de ces recherches quelques indications importantes relativement au choix de la meilleure variété à cultiver. Il s'entend de soi que, dans ce choix, il faut avoir égard à toute une série de considérations, mais on sait déjà qu'en général la fécondité d'une variété dépend jusqu'à un certain point de la longueur de la période de végétation. Du moins la plupart des variétés, renommées pour être de bonnes orges de brasserie, ont une période moyenne de végétation d'environ 100 à 120 jours.

Or, nos essais montrent que les variétés restant en terre pendant ce laps de temps, depuis les semailles jusqu'à la récolte, se distinguent des autres par la longueur extraordinaire des premières périodes de

végétation. Je parle des variétés employées par Wolff, comme on peut le voir en jetant un regard sur le tableau général des différents essais. Je crois donc qu'il est permis de supposer que la fécondité renommée des variétés telles que l'orge Chevalier, l'orge Annat, provient de ce que, chez elles, la période antérieure à l'épiage, c'est-à-dire la période pendant laquelle l'absorption atteint son degré le plus élevé, est plus longue que pour les espèces moins fécondes et moins longévives. Grâce à cette propriété, elles peuvent mieux utiliser la richesse du sol. Si cette assertion est exacte, on cherchera à obtenir des grains de semence ayant une longue période de végétation avant l'épiage. Cependant, ce n'est pas encore le moment de développer cette idée ou des idées analogues.

Tableaux.

Résultats des essais faits pour établir la marche de l'absorption des principes nutritifs. Représentés en 0/0 des quantités maxima.

ÉTAT DES PLANTES.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.								
1. — ESSAI DE SCHEVEN. — SEMAILLES DU 25 MAI 1855.										
Pleine floraison	28 juin	21	19.8	18.7	35.7	47.5	45.5	61.4	33.8	38.7
	17 juili.	20	69.0	68.8	78.5	94.4	100.0	100.0	68.8	73.6
	30 juill.	13	84.1	83.9	84.7	98.0	85.5	94.8	77.5	74.0
	8 août	9	89.9	89.7	92.7	79.4	69.2	78.2	100.0	100.0
Maturité.	21 août	13	100.0	100.0	100.0	100.0	62 4	66.4	(58.7)	100.7
2. — ESSAI DE STÖCKHARDT.										
Épiage	1er juill.	31	30.9	»	»	53.9	»	»	(A) Substance aérienne.	
Floraison	27 juill.	26	78.2	»	»	88.3	»	»		
Maturité.	23 août	27	100.0	»	»	100.0	»	»		
Le même essai.	1er juill.	31	33.7	»	»	54.0	»	»	(B) Plantes entières avec racines.	
	27 juill.	26	79.5	»	»	90.0	»	»		
	23 août	27	100.0	»	»	100.0	»	»		
3. — ESSAIS DE WOLFF.										
a. — *Orge de Jérusalem* (*l. c.* p. 241).										
Épiage.	16 juin	»	24.4	23.4	45.6	44.9	»	»	»	»
Floraison	5 juill.	19	49.8	48.9	70.2	66.7	»	»	»	»
Maturité.	4 août	30	100.0	100.0	100.0	100.0	»	»	»	»
b. — *Orge Anat d'Écosse* 1855 (*l. c.* p. 241).										
Épiage.	16 juin	»	31.5	30.6	49.5	53.5	»	»	»	»
Floraison	5 juill.	19	71.5	70.2	96.1	76.4	»	»	»	»
Maturité.	29 juill.	30	100.0	100.0	100.0	100.0	»	»	»	»
c. — *Orge de Jérusalem* 1856 (*l. c.* p. 230).										
Épiage.	13 juin	66	39.5	37.8	68.7	73.8	100.0	88.9	75.8	71.0
Floraison	5 juill.	22	79.7	78.0	100.0	72.8	83.7	100.0	100.0	99.0
Maturité.	29 juill.	24	100.0	100.0	96.3	100.0	62.9	93.3	89.6	100.0
d. — *Orge Chevalier* 1856 (*l. c.* p. 237).										
Épiage.	13 juin	66	47.8	46.8	60.2	67.0	»	»	»	»
Floraison	5 juill.	22	89.2	88.8	94.1	68.1	64.7	100.0	100.0	93.3
Maturité.	1er août	27	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	74.2	77.5	100.5
Orge Chevalier 1857 (*l. c.* p. 236).										
Épiage.	15 juin	70	55.0	53.8	68.7	83.0	100.0	72.6	58.4	62.0
Floraison	4 juill.	19	87.9	86.5	100.0	88.0	99.9	100.0	100.0	79.4
Maturité.	24 juill.	20	100.0	100.0	87.8	100.0	71.7	64.0	95.8	100.0
4. — ESSAI DE FITTBOGEN. — PLANTES ENTIÈRES.										
Avant l'épiage.	22 mai	10	12.0	10.2	57.7	50.2	87.7	49.2	49.3	51.6
	2 juin	11	36.2	34.6	76.9	90.6	100.0	68.4	77.6	76.8
Épiage.	16 juin	14	74.5	73.8	93.3	97.8	99.8	85.1	88.7	91.0
Fin de la floraison	24 juin	8	95.0	95.0	96.5	100.0	75.8	92.8	100.0	96.8
Maturité.	16 juill.	22	100.0	100.0	100.0	100.0	72.5	100.0	94.4	100.0

ÉTAT DES PLANTES.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.								
b. — *Parties aériennes des plantes.*										
Avant l'épiage.	22 mai	10	8.6	7.6	36.0	52.4	78.2	19.8	22.6	29.8
	2 juin	11	29.7	28.4	66.0	93.7	99.4	50.3	65.1	62.7
Épiage.	16 juin	14	69.5	68.8	88.6	100.0	100.0	81.7	85.1	82.9
Fin de la floraison	24 juin	8	91.1	91.1	88.5	94.1	71.9	91.8	100.0	93.7
Maturité.	16 juill.	22	100.0	100.0	100.0	97.5	76.3	100.0	95.5	100.0

SEMAILLES, LE 7 MAI. LEVER, LE 15 MAI.	DATE.	DURÉE DE LA PÉRIODE.	I SUPERPHOSPHATE et sulfate d'ammoniaque.		II NON FUMÉ.		IV SUPERPHOSPHATE et azotate de soude.		VI SUPERPHOSPHATE et solution de sulfate d'ammoniaque.	
			Substance sèche.	Principes minéraux.	Substance sèche.	Principes minéraux.	Substance sèche.	Principes minéraux.	Substance sèche.	Principes minéraux.
		Jours								
5. — ESSAIS DE HOFFMEISTER.										
a. — *Substance aérienne.*										
	26 mai	11	»	»	0.6	1.2	0.7	1.8	0.2	0.8
	3 juin	8	»	»	2.0	6.2	2.8	8.1	0.8	2.7
	10 juin	7	7.0	17.3	8.4	24.3	9.8	26.1	3.8	10.1
	17 juin	7	16.1	43.2	17.2	39.0	26.0	52.4	10.0	31.2
	24 juin	7	24.2	60.4	20.9	72.1	31.2	74.4	13.8	44.3
Développement des épis .	2 juillet	8	38.2	73.9	35.1	83.0	56.2	98.0	36.2	73.5
Commencement de la maturité	16 juillet	14	100.0	100.0	37.4	48.0	78.0	100.0	44.5	90.0
	23 juillet	7	74.8	69.7	100.0	100.0	100.0	94.4	100.0	100.0
Plantes entières, racines comprises.										
	26 mai	11	»	»	0.6	1.6	1.1	2.7	0.4	0.9
	3 juin	8	»	»	2.5	8.2	3.6	8.3	1.1	2.9
	10 juin	7	7.3	16.3	9.4	26.1	10.4	21.2	4.1	10.7
	17 juin	7	19.4	46.9	21.5	67.5	29.6	61.4	13.4	38.2
	24 juin	7	28.5	60.7	27.3	92.9	37.0	78.0	17.2	52.1
	2 juillet	8	37.6	65.9	37.5	85.0	59.3	100.0	37.9	72.5
	16 juillet	14	100.0	100.0	39.4	50.8	79.9	92.0	45.6	92.2
	23 juillet	7	73.6	70.3	100.0	100.0	100.0	80.7	100.0	100.0

B. — Avoine.

Pour l'avoine, nous avons les essais suivants :

1. Cinq essais de Stöckhardt (*Tharander Jahrbuch,* III, p. 290). Dans ces essais, on a établi une comparaison entre des avoines fumées différemment, et l'on a examiné séparément les racines, les chaumes et les grains. A l'exception d'une détermination des principes minéraux dans les racines de l'avoine récoltée le 25 juillet sans avoir été fumée, et pour laquelle il a fallu admettre une valeur moyenne [1], nous avons, pour 3 stades de végétation (peu de temps avant l'épiage, fin de la floraison et maturité), tous les nombres nécessaires pour calculer la marche de la production de substance sèche, ainsi que de l'absorption d'azote et de principes minéraux pendant ces périodes. Stöckhardt dit lui-même que l'avoine a poussé vigoureusement et indique que la végétation de son avoine d'essai doit être regardée, « après celle des pommes de terre, comme la plus régulière et la plus normale parmi les plantes culturales de cette série d'essais ». D'après ma vérification des calculs, je soupçonnerais seulement une erreur pour les échantillons des tiges d'avoine fumées avec 4 quintaux de guano par arpent, car il me semble invraisemblable qu'il y ait eu, dans les tiges d'avoine avant l'épiage, plus d'azote qu'à la fin de la période de floraison. Je renonce donc à utiliser ces indications.

2. Huit essais de E. Wolff (*die Erschöpfung des Bodens durch die Kultur*. Leipzig 1856, p. 51, et *Mittheilungen de Hohenheim,* V. p. 245, 399) exécutés de 1855 à 1857. Dans tous ces essais, le développement a été normal ; seulement l'avoine brune à panicules a souffert de la sécheresse pendant la dernière période de la végétation, de sorte que la paille n'a pas été abondante. Mais il n'en est résulté aucun rapport anormal entre la production de substance sèche et l'absorption de principes nutritifs.

Les recherches se sont étendues seulement aux organes aériens et ont été répétées avec grand soin, en 1855 et 1856, dans trois pé-

---

1. Les nombres ainsi obtenus ont été marqués par +.

riodes différentes et en 1857 dans quatre périodes (époque de l'épiage, de la floraison, formation du grain, maturité). En 1855, on a déterminé directement la substance sèche, les principes minéraux et l'azote ; la teneur en différents éléments constitutifs des cendres a été calculée d'après d'autres recherches opérées en même temps. Comme Wolff, dans son second travail, a renoncé à se servir de ces nombres, nous ne les avons pas utilisés dans le texte, mais nous les avons insérés dans le tableau général. Dans les années suivantes on a fait le plus souvent les analyses complètes des cendres. J'ai été obligé de renoncer à me servir des recherches sur l'avoine Hopetown, parce que le poids de la masse de la récolte à l'état de maturité n'est pas déterminé.

3. Des recherches sur quelques phénomènes de la végétation de l'avoine faites par Arendt (*Versuchsstationen*, I, p. 31, publiées aussi dans un tirage spécial). Ce travail qui, sous beaucoup de rapports, peut être regardé comme un modèle, présente, au point de vue de la question qui nous occupe ici, l'inconvénient qu'il est impossible d'approuver la méthode suivie dans le choix des échantillons : on a pris seulement des tiges vigoureuses, développées symétriquement. Il est probable que, particulièrement dans la seconde moitié de la végétation, ces tiges d'avoine, qui nous frappent surtout comme étant « grasses », sont celles dont la nutrition n'a pas suivi un cours normal ; elles ont continué à absorber fortement dans un temps où l'absorption diminuait déjà chez les tiges moyennes. En outre, Arendt a cru bon de couper toutes les pousses latérales et de les exclure de ses recherches. Nous devons encore ajouter qu'Arendt a complètement analysé l'avoine dans cinq périodes différentes, mais en excluant toujours les racines de ses analyses. Par toutes ces considérations, nous avons pu citer seulement les résultats d'Arendt sous réserve, mais nous n'avons pas pu les utiliser dans nos calculs, car une comparaison avec les autres travaux montre qu'ils sont réellement un peu anormaux.

4. Fittbogen et Ulbricht (*Versuchsstationen*, VI, p. 274) ont fait des recherches sur les tiges d'avoine à l'époque de l'épiage, de la floraison et de la maturité. Elles avaient pour but de déterminer la substance sèche et les différents éléments constitutifs des cendres et

se sont étendues aux racines et aux parties aériennes, qui ont été examinées séparément. Comme les semailles dans des vases en verre remplis de terreau se sont faites très tard, de sorte que la maturité eut lieu seulement le 6 novembre, la croissance ne paraît pas avoir été tout à fait normale. Du moins nous ne voyons nulle part ailleurs qu'une forte tige d'avoine ait déjà formé — comme le prouvent les indications du poids absolu — avant l'épiage, deux tiers de la substance sèche existant à l'époque de la maturité. Peut-être ici a-t-on fait toutes les recherches dans une période de l'épiage postérieure à celle choisie dans les autres cas; voilà ce que j'ai supposé en me servant de ces résultats, afin de ne pas réunir des nombres qui évidemment ne vont pas ensemble.

5. Bretschneider (*Mittheilungen des landw. Central-Vereins für Schlesien,* n° 10, p. 84) a fait des recherches sur l'avoine dans 4 périodes de végétation : *a*) commencement de l'épiage, *b*) pleine floraison, *c*) commencement de la maturité, *d*) maturité, et a déterminé dans la partie aérienne la substance sèche, l'azote et les différents éléments des cendres. Ce travail est très précieux pour le but que nous nous proposons. Il faut cependant remarquer que les échantillons ont été obtenus, comme dans les essais de Wolff, en récoltant chaque fois une perche carrée, ce qui naturellement n'est pas tout à fait exact. Bretschneider chercha à améliorer ses nombres en comptant chaque fois les tiges récoltées sur quatre pieds carrés et en fixant ainsi les poids de la récolte d'après un même nombre de plantes. Mais, à mon avis, quatre pieds carrés sont tout à fait insuffisants pour une telle détermination, et dans mes calculs je me servirai seulement des nombres qui peuvent être déduits des pesées directes de Bretschneider.

6. Dehérain, Meyer et Nantier (*Annales agronomiques,* nouvelle série, IV, p. 158, et V, p. 162), ont pendant plusieurs années étudié l'avoine peu de temps avant et pendant la maturité au point de vue de la substance sèche, de l'azote et des principes minéraux. Il s'agissait simplement pour eux d'établir les changements qui ont lieu pendant les dernières semaines avant et après la maturité complète. Pour la plupart des questions qui nous occupent ici, ces travaux fournissent donc peu de renseignements, d'autant moins

que différentes impossibilités, par exemple l'augmentation en azote de 21-52 p. 100 après le commencement de la pleine maturité, indiquent que, dans ces travaux, nous avons à faire non pas à des tiges d'avoine seules, mais à de l'avoine mêlée à beaucoup de mauvaises herbes.

Comme la plupart de ces essais ont seulement égard aux parties aériennes de la plante, nous donnerons d'abord les résultats qui concernent ces dernières.

Les recherches sur les phénomènes, qui se passent dans les premières semaines après la levée de la graine, ne sont pas très nombreuses. Nous en avons deux de Wolff, de l'année 1855, où l'avoine a été manifestement semée beaucoup plus tard que dans les essais ultérieurs de Wolff; aussi le 15 juin était-elle bien moins développée et a-t-elle mûri plusieurs semaines plus tard que dans les essais des deux années suivantes. Nous citerons également les recherches de Arendt, mais sous la réserve indiquée plus haut.

A. — Avant l'épiage.

	DATE.	JOURS après le lever de la semence.	SUBSTANCE sèche p. 100.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	SUBSTANCE organique.
Wolff. Avoine paniculée blanche.	15 juin 1855	?	10.3	29.5	16.0	9.8
— — brune	15 juin 1855	?	10.2	20.9	25.8	9.3
Moyenne de ces essais.	»	»	10.25	25.2	20.9	9.5
Arendt.	10 juin	18	18.6	27.1	28.9	18.0

Relativement à une période de développement ultérieure, sur le commencement de l'épiage nous avons un plus grand nombre de recherches dont les résultats sont exposés dans le tableau suivant :

TABLEAU.

B. — Commencement de l'épiage.

	DATE.	JOURS après le lever.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
1. Bretschneider	19 juin	48	27.2	26.9	40.2	43.2	56.2	43.5	45.8	33.8
2. Wolff, avoine blanche à épillets	15 juin 1857	70	31.0	30.0	67.4	40.3	51.8	39.8	34.2	38.6
3. — — paniculée	15 juin 1857	71	35.0	34.1	61.3	49.8	64.6	43.7	33.1	43.9
4. — brune paniculée	15 juin	73	28.8	28.1	50.0	38.3	52.4	44.7	33.1	35.9
5. — — —	13 juin	78	23.0	22.2	33.8	35.1	42.4	37.8	33.4	24.9
6. — blanche à étendard	13 juin 1856	75	18.6	17.8	41.5	31.1	»	»	40.0	»
7. — blanche paniculée	5 juill. 1855	?	36.2	35.2	67.6	48.2	»	»	»	»
8. — brune paniculée	5 juill. 1855	?	36.0	35.1	46.1	51.9	»	»	»	»
9. Stöckhardt, sans fumure	5 juillet	36	36.1	34.4	49.7	54.6	»	»	»	»
10. — nitrate de soude	5 juillet	36	21.7	20.7	51.8	32.4	»	»	»	»
11. — nitrate de soude et guano	5 juillet	36	30.6	29.3	60.0	42.9	»	»	»	»
12. — poudre d'os	5 juillet	36	16.2	15.5	26.7	22.7	»	»	»	»
13. — guano	5 juillet	36	36.4	35.9	82.4	40.0	»	»	»	»
Résultat moyen des numéros 1-5	5 juillet	68	29.0	28.3	50.5	41.3	53.5	41.9	37.3	35.4
— — 1-12	5 juillet	56	28.4	27.4	49.8	37.5	»	»	»	»

D'après ce tableau, il ne semble guère y avoir de différence entre les résultats 1-12 et 1-5. Si, malgré le rapport constant entre la substance sèche d'une part, les principes minéraux et l'azote d'autre part, la longueur de la période n'est pas la même, cela démontre l'importance du choix des variétés, qui a précisément une grande influence sur la longueur de la période de végétation avant l'épiage.

A et B nous montrent que chez l'avoine comme chez l'orge l'absorption de matière dépasse de beaucoup la production de substance organique, chez la première, à la vérité, dans une mesure plus faible que chez la dernière. La différence entre les deux plantes consiste en ce que ces deux processus vitaux sont plus longs chez l'avoine que chez l'orge. Pendant que la tige de l'orge forme dans les 4 premières semaines 20 p. 100 de la substance sèche totale et absorbe environ 40-60 p. 100 de tous les éléments nutritifs nécessaires, cette période chez l'avoine a une longueur d'à peu près 7 semaines, et, dans cet intervalle, il se forme seulement environ 10 p. 100 de la substance sèche, tandis que 15,30 p. 100 des éléments nutritifs sont absorbés. L'orge doit donc recevoir dans sa jeunesse une alimenta-

tion beaucoup plus riche que l'avoine, puisqu'elle est obligée de fournir un travail beaucoup plus énergique. Plusieurs semaines avant le commencement de l'épiage, cette prédominance de l'absorption sur la production de substance semble déjà diminuer à tel point que, vers ce moment, ces deux fonctions ont une marche à peu près parallèle ; ce qui chez l'orge a lieu bien plus tard. Comme ce fait ressort d'essais où l'on a déterminé l'azote et les cendres, nous pouvons, dans notre représentation graphique, admettre que les différents éléments des cendres se comportent de la même manière.

Relativement à un temps ultérieur à la période de l'épiage nous possédons les résultats de deux essais d'Arendt ainsi que de Fittbogen et d'Ulbricht ; nous les laissons de côté, parce qu'ils ne fournissent pas d'autres renseignements que les analyses plus nombreuses faites à l'époque de la floraison qui sont exposées dans le tableau suivant :

C. — Époque de la floraison.

	DATE.	NOMBRE de jours.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
1. Bretschneider	8 juillet 1857	19	79.0	78.0	90.7	87.0	100.0	100.0	90.8	78.7
2. Wolff. Avoine blanche à étendard	4 juillet 1857	19	78.5	77.9	88.9	85.3	100.0	75.0	63.8	72.4
3. — — à panicules	4 juillet 1857	19	69.2	67.6	95.2	94.0	100.0	83.1	90.5	89.0
4. — brune —	5 juillet 1856	22	65.5	64.7	52.7	77.4	100.0	77.4	55.2	57.1
5. — — —	4 juillet 1857	19	69.5	68.6	63.4	81.1	100.0	87.5	72.1	65.5
6. Fittbogen et Ulbricht	13 sept. 1857	»	77.3	76.1	»	85.3	98.7	78.0	93.8	92.3
7. Wolff. Avoine blanche à étendard	5 juillet 1856	22	61.7	61.2	71.0	68.0	100.0	100.0	59.2	59.9
8. — — à panicules	4 août 1855	30	75.8	75.8	100.0	75.3	»	»	»	»
9. — brune —	4 août 1855	30	84.2	83.4	81.0	95.4	»	»	»	»
10. Stöckhardt, non fumée.	25 juill. 1855	20	73.6	73.0	97.4	82.5	»	»	»	»
11. — nitrate de soude . .	25 juill. 1855	20	82.9	82.6	95.2	86.5	»	»	»	»
12. — nitr. de soude et guano	25 juill. 1855	20	89.4	89.8	89.0	84.4	»	»	»	»
13. — poudre d'os	25 juill. 1855	20	59,5	59.1	50.1	63.9	»	»	»	»
Arendt	10 juill. 1855	30	76.0	75.8	57.5	79.2	90.8	78.9	57.5	72.5
Stöckhardt. Guano.	25 juill. 1855	20	66.9	66.9	68.8	59.1	»	»	»	»
Moyenne de 1-6	»	»	70.6	69.7	77.0	82.1	100.0	83.0	71.9	70.4
— de 1-6, 8-13	»	»	71.5	70.6	»	82.6	99.8	86.6	75.8	73.6
— de 1-7.	»	»	74.1	73.5	81.2	81.8	»	»	»	»

Les différences, de peu d'importance dans la proportion entre la production de substance sèche et l'absorption d'azote que nous re-

marquons entre les moyennes 1-6 et 1-13, s'expliquent par les différences entre les nos 4 et 5; dans le graphique il faudra donc donner la préférence autant que possible, c'est-à-dire pour les trois premières rubriques, aux résultats de 1-13. Ce qui ressort de notre tableau, c'est que depuis le commencement de l'épiage jusqu'à la complète floraison la production de substance végétale est très active dans la tige d'avoine, que l'absorption de potasse et de chaux suit une marche parallèle, tandis que l'acide phosphorique et la magnésie sont absorbés en quantité relativement moindre.

Trois recherches faites sur le commencement de la maturité fournissent le résultat suivant:

D. — Commencement de la maturité.

	DATE.	JOURS avant la pleine maturité.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
1. Wolff. Avoine brune à panicules 1856	1 août	15	94.4	94.4	66.2	94.5	81.5	100.0	84.9	73.4
2. Wolff. Avoine blanche à épillets.	1 août	15	95.5	95.0	86.1	100.0	90.5	94.4	100.0	100.0
3. Bretschneider.	28 juillet	9	80.7	80.7	92.3	79.6	92.3	73.4	78.6	75.2
4. Moyenne en laissant de côté l'azote indiqué dans l'essai 1.	»	13	90.2	90.0	89.2	91.4	88.1	89.3	87.8	82.9

A partir de l'époque de la floraison, la production de substance sèche augmente donc plus vite que la teneur en matière se rapproche de son maximum. Seule la quantité de potasse, qui avait déjà atteint son maximum à l'époque de la floraison, diminue maintenant peu à peu.

C'est à l'époque de la maturité que nous trouvons dans la tige d'avoine la totalité de tous les principes nutritifs qui entrent dans sa composition (la potasse exceptée) ainsi que le maximum de la production de substance sèche. Dans quelques essais, isolés sans doute, on rencontre aussi à l'époque de la maturité d'autres principes nutritifs en moindre quantité qu'auparavant; cela provient de la chute des feuilles et du temps qu'il fait.

Le tableau suivant montre les rapports entre les chiffres trouvés dans les essais à l'époque de la maturité :

E. — Époque de la maturité.

	DATE.	JOURS après C.	SUBSTANCE organique ou substance sèche.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
1. Bretschneider.	6 août 1857	29	100.0	100.0	100.0	86.2	97.0	100.0	100.0
2. Wolff. Avoine blanche à étendard	7 août 1857	34	100.0	100.0	100.0	62.7	100.0	100.0	100.0
3. Wolff. Avoine blanche à panicules.	7 août 1857	31	100.0	100.0	100.0	89.5	100.0	100.0	100.0
4. Wolff. Avoine brune à panicules	16 août 1856	42	100.0	100.0	100.0	91.9	84.8	100.0	100.0
5. Wolff. Avoine brune à panicules	7 août 1857	31	100.0	100.0	100.0	76.8	100.0	100.0	100.0
6. Wolff. Avoine blanche à étendard	16 août 1857	42	100.0	100.0	96.7	80.0	90.5	75.9	95.5
7. Fittbogen et Ulbricht. .	6 novembre	54	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
8. Wolff. Avoine blanche à panicules.	27 août 1855	23	100.0	96.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9. Wolff. Avoine brune . .	27 août 1855	23	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
10. Stöckhardt, sans fumure.	23 août 1855	29	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
11. Stöckhardt, nitrate de soude.	23 août 1855	29	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12. Stöckhardt, nitrate de soude et guano	23 août 1855	29	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
13. Stöckhardt, poudre d'os.	23 août 1855	29	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Stöckhardt, guano. . . .	23 août 1855	29	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Moyenne.	»	33	100.0	99.7	99.7	82.6	96.0	96.6	99.4

Comme il a été dit, Dehérain, Meyer et Nantier ont fait plusieurs travaux sur les conditions de la croissance dans les dernières semaines de la vie végétale de l'avoine. Précisément parce que ces travaux se rapportent seulement aux dernières semaines, nous ne les avons pas insérés dans le tableau ci-dessus ; en somme ils aboutissent aux mêmes résultats que les recherches allemandes, antérieures de deux décennies, que nous avons utilisées. Ils démontrent également que, si le temps s'y prête, l'avoine, qui n'est pas coupée après la maturité, perd rapidement, par suite de la chute des grains et par la décomposition, une partie de la substance de la récolte, mais que, d'autre part, si la maturité est inégale, il se développe encore, par suite d'un

fort tallage, de jeunes pousses et des mauvaises herbes qui enlèvent alors au sol, même après le commencement de la maturité proprement dite, une certaine quantité de matière, de sorte que quelquefois une récolte d'avoine trop mûre contient plus de principes nutritifs qu'une récolte coupée au moment de la maturité normale.

Si à l'aide de notre table des courbes nous jetons encore un coup d'œil sur les résultats moyens de tous les essais d'avoine, nous voyons que, chez l'avoine aussi, l'absorption de principes nutritifs dans la première moitié de l'époque de la végétation dépasse la production de substance organique dans la deuxième, mais dans des proportions bien plus faibles que chez l'orge. En outre l'avoine, dans la première période de sa vie où elle déploie le plus d'activité, a plus de temps à sa disposition et est évidemment douée plus tard d'une plus grande force d'assimilation que l'orge ; aussi son rendement ne dépend-il pas d'une grande provision d'éléments facilement assimilables autant que c'est le cas pour cette dernière plante.

Pour voir jusqu'à quel point les rapports existant entre l'absorption de principes nutritifs et la production de substance sèche dans la partie aérienne de la plante, que nous avons exposés dans les tableaux précédents, nous offrent une image exacte des phénomènes de croissance dans la plante entière, nous pouvons étudier ces rapports dans les essais de Stöckhardt et de Fittbogen-Ulbricht. Les essais de Stöckhardt indiquent tous exactement les mêmes rapports. Afin d'obtenir plus commodément une vue d'ensemble, je les exprime par des nombres moyens, à l'exception de l'essai avec guano, et j'arrive au résultat suivant :

	PEU DE TEMPS avant l'épiage.	DIFFÉRENCE.	FIN de la floraison.	DIFFÉRENCE.	MATURITÉ.	DIFFÉRENCE.
Substance sèche. — Plante entière	28	+ 2	79	+ 3	100	± 0
— — Partie aérienne	26	»	76	»	100	»
Azote. — Plante entière	50	+ 3	86	+ 3	100	± 0
— — Partie aérienne	47	»	83	»	100	»
Principes minéraux. — Plante entière	41	+ 3	82	+ 4	100	± 0
— — Partie aérienne	38	»	78	»	100	»

Nous trouvons donc ici, dans la plante entière, entre la substance sèche d'une part, l'azote et les principes minéraux d'autre part, un rapport analogue à celui que nous avons constaté dans la partie aérienne. Mais pendant la jeunesse, les racines sont relativement plus nombreuses que postérieurement, de sorte que pour la plante entière il faut augmenter de 3 p. 100 le chiffre indiquant la quantité de matière absorbée, dans nos tableaux relatifs à la partie aérienne, et de 2 p. 100 celui indiquant leur production de substance sèche jusqu'au moment de l'épiage. Dans la période ultérieure, les proportions, d'après les essais de Stöckhardt, sont les mêmes pour la plante entière que pour les parties aériennes. Conséquemment après la floraison, l'absorption des principes nutritifs, de même que la production de substance végétale, seraient inférieures de 3 p. 100 aux indications données pour les parties aériennes.

L'essai de Fittbogen et d'Ulbricht nous montre un résultat analogue, encore plus fortement caractérisé. La méthode qu'ils ont employée (culture en pot) leur a permis de récolter les racines plus complètement que n'a pu le faire Stöckhardt pour les avoines ayant crû en plein champ. Dans cet essai les plantes entières donnent relativement aux parties aériennes les plus + ou les moins — suivants (en centièmes des quantités maxima).

	PÉRIODE		
	de l'épiage.	de la floraison.	de la maturation.
Substance sèche	+ 8.9	+ 4.4	± 0
Principes minéraux	+ 11.6	+ 4.7	± 0
Potasse	+ 15.4	+ 0.6	± 0
Chaux	+ 8.7	— 2.3	± 0
Magnésie	+ 20.0	+ 0.3	± 0
Acide phosphorique	+ 13.9	— 0.1	± 0

Ici, comme chez l'orge, les racines sont un réservoir important de principes nutritifs qui est rempli pendant l'épiage et vidé ensuite peu à peu. La conséquence en est qu'avant l'épiage la quantité de matière absorbée est, d'une façon absolue et en proportion de la production de substance sèche, considérablement plus forte qu'elle ne paraît l'être, si l'on ne considère que les parties aériennes de la plante.

En outre, dans ces essais avec l'avoine on voit aussi, ce qu'on a déjà pu observer pour l'orge, que le temps total, employé par une variété d'avoine pour sa végétation, augmente ou diminue avec le temps qu'elle a à sa disposition pour la première période de végétation antérieure à l'épiage. C'est l'époque pendant laquelle se remplit la réserve alimentaire représentée également pour les céréales annuelles par les racines, et c'est également l'époque où l'absorption de principes nutritifs par une plante croissant normalement doit être relativement plus forte que la production de substance organique et que l'évaporation d'eau par les feuilles. Moins l'absorption a besoin d'être intense pendant cette période, ou ce qui revient au même, plus cette période est longue grâce aux caractères de la variété, mieux la plante pourra utiliser le capital d'aliments disponible dans le sol. Voilà ce qui nous explique pourquoi nous trouvons aussi chez l'avoine la confirmation de cette règle que nous avons déjà appris à connaître chez l'orge, à savoir : en général les variétés ayant une plus longue période de végétation méritent la préférence, parce que, dans la première moitié de leur végétation, elles savent mieux utiliser le sol que d'autres.

Quelques-uns de nos essais d'avoine, particulièrement ceux de Stöckhardt, montrent en outre quelle influence l'engrais peut exercer sur le cours de l'absorption des éléments nutritifs. Dans ces essais, l'engrais facilement soluble, consistant en nitrate de soude ou bien en nitrate de soude mêlé à du guano, fut utilisé dans le même espace de temps que la provision d'aliments contenus dans le sol. La fumure avec de la poudre d'os, au contraire, amena une notable absorption d'éléments nutritifs, seulement après le commencement de l'épiage.

Mais les récoltes produites par les essais de Stöckhardt nous prouvent aussi, ce qui a été confirmé depuis par de nombreuses observations pratiques et ce que Wagner a expliqué et démontré par ses belles expériences de fumure sur l'orge, que, si l'absorption des principes nutritifs suit un cours anormal, l'élaboration des aliments absorbés ne peut pas non plus être normal. Quand on fume avec des substances se dissolvant difficilement, des plantes que leur nature oblige à absorber beaucoup d'aliments dans leur jeunesse, l'aug-

mentation du rendement est insignifiante et la teneur en matière nutritive n'est pas répartie chez la plante mûre d'une façon convenable.

Afin de pouvoir, à la fin de ces observations, embrasser d'un seul coup d'œil le résultat général de tous nos essais, en nombres moyens, il suffira de consulter le tableau suivant. Pour plus de clarté nous en faisons aussi le graphique. (Voy. planche. V).

Marche suivie par l'avoine dans l'absorption des principes nutritifs. En centièmes des quantités maxima.

PÉRIODE DE VÉGÉTATION.	DATE.	DURÉE de la période.	PARTIE AÉRIENNE de la plante.				PLANTE ENTIÈRE.			
			SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.
		Jours.								
ESSAIS DE STŒCKHARDT.										
a. — *Sans engrais.*										
Peu de temps avant l'épiage	5 juillet	36	36.1	3[illegible].4	54.6	49.7	39.0	36.9	58.3	53.6
Fin de la floraison.	25 juillet	20	73.6	73.[illegible]	82.5	97.3	76.7	76.6	83.7	99.9
Maturité	23 août	23	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
b. — 6 *quintaux de poudre d'os par arpent* [1].										
Peu de temps avant l'épiage	5 juillet	36	16.2	15.5	22.7	26.7	17.2	16.5	24.0	28.4
Fin de la floraison.	25 juillet	20	59.5	59.1	63.9	50.1	60.2	59.9	66.2	51.7
Maturité	23 juillet	23	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
c. — 3 *quintaux de nitrate de soude par arpent.*										
Peu de temps avant l'épiage	5 juillet	36	21.7	20.7	32.4	51.8	23.4	22.4	34.6	53.1
Fin de la floraison.	25 juillet	20	82.9	82.6	86.5	95.2	85.5	85.6	83.8	96.6
Maturité	23 août	23	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
d. — 4 *quintaux de guano par arpent.*										
Peu de temps avant l'épiage	5 juillet	36	36.4	35.9	40.0	82.4	38.4	37.9	42.3	83.4
Fin de la floraison.	25 juillet	20	65.0	66.9	59.1	68.8	68.1	69.0	60.7	69.2
Maturité	23 août	23	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
e. — 2 *quintaux de guano et 1 et demi de nitrate de soude.*										
Peu de temps avant l'épiage	5 juillet	36	30.6	29.3	42.9	60.0	30.6	32.2	46.3	63.9
Fin de la floraison.	25 juillet	20	89.4	89.8	84.4	89.0	89.4	94.1	92.8	93.0
Maturité	23 août	23	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

1. L'arpent de Saxe est de $0^{hect},553$.
Le quintal égal 50 kilogr.

L. Gr.

PÉRIODE DE VÉGÉTATION.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		jours.								
2. — ESSAIS DE E. WOLFF.										
a. — *Avoine à étendard sans barbe* 1857 (*l. c.* p. 245).										
Épiage	15 juin	70	31.0	30.4	40.3	67.4	51.8	39.8	34.2	38.6
Floraison	4 juillet	19	78.5	77.9	85.3	88.9	100.0	75.0	63.8	72.4
Maturité	7 août	34	100.0	100.0	100.0	100.0	62.7	100.0	100.0	100.0
b. — *Avoine à étendard sans barbe* 1856 (*l. c.* p. 245).										
Épiage	13 juin	75	18.6	17.8	31.1	41.5	»	»	»	»
Floraison	5 juillet	22	61.7	61.2	68.0	61.0	100.0	100.0	59.2	59.9
Demi-maturité	1er août	27	95.5	95.0	100.0	68.1	90.5	94.4	100.0	100.0
Maturité	16 août	15	100.0	100.0	96.7	100.0	80.0	90.5	75.9	95.5
c. — *Avoine brune à panicules* 1857.										
Épiage	15 juin	73	28.8	28.1	38.3	50.0	52.4	44.7	33.4	35.9
Floraison	4 juillet	19	69.5	68.6	84.1	63.4	100.0	87.5	72.1	65.5
Maturité	7 août	34	100.0	100.0	100.0	100.0	76.8	100.0	100.0	100.0
d. — *Avoine brune à panicules* 1856.										
Épiage	13 juin	78	23.0	22.2	35.1	33.8	42.4	37.8	40.0	24.9
Floraison	5 juillet	22	65.5	64.7	77.4	52.7	100.0	77.4	55.2	57.1
Demi-maturité	1er août	27	94.4	94.4	94.5	66.2	81.5	100.0	84.9	73.4
Maturité	16 août	15	100.0	100.0	100.0	100.0	91.9	84.8	100.0	100.0
e. — *Avoine précoce blanche à panicules* 1857 (*l. c.* p. 255).										
Épiage	15 juin	71	35.0	34.1	49.8	61.3	64.6	43.7	33.1	43.9
Floraison	4 juillet	19	69.2	67.6	94.0	95.2	100.0	88.1	90.5	89.0
Maturité	7 août	34	100.0	100.0	100.0	100.0	80.5	100.0	100.0	100.0
f. — *Avoine précoce blanche à panicules* 1855 (*l. c.* 257 *et Épuisement du sol*, p. 51).										
Épiage	15 juin	»	10.3	9.8	16.0	29.5	23.5	32.0	»	15.0
Floraison	5 juillet	30	36.2	35.2	48.2	67.6	76.9	100.0	»	37.7
Demi-maturité	4 août		75.8	75.8	75.5	100.0	100.0	70.0	»	56.4
Maturité	27 août	23	100.0	100.0	100.0	9.64	76.0	28.5	»	100.0
g. — *Avoine brune à panicules* 1855 (*l. c.* p. 258 *et Erschopfung des Bodens*, p. 52).										
Épiage	15 juin	»	10.2	9.3	25.5	20.9	29.7	47.1	»	23.8
Floraison	5 juillet	30	36.0	35.1	51.9	46.1	65.6	100.0	»	40.4
Demi-maturité	4 août		84.2	83.4	95.4	81.0	100.0	81.6	»	71.0
Maturité	27 août	23	100.0	100.0	100.0	100.0	60.1	26.1	»	100.0
3. — ESSAI D'ARENDT.										
Commencement de l'épiage	10 juin	18	18.6	18.0	28.9	27.1	38.5	30.5	23.7	23.0
Fin de l'épiage	30 juin	30	55.5	55.4	55.2	45.1	70.2	57.8	42.0	42.1
Fin de la floraison	10 juill.		76.0	75.8	79.2	57.5	90.8	78.9	57.5	72.5
Commencement de la maturité	21 juill.	11	94.5	94.5	95.3	90.5	100.0	98.5	84.0	90.7
Maturité	31 juill.	10	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8	100.0	100.0	100.0

PÉRIODE DE VÉGÉTATION.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
4. — ESSAI DE FITTBOGEN ET ULBRICHT.										
a. — *Partie aérienne.*										
Commencement de l'épiage.	25 août	»	51.2	52.8	62.2	»	75.0	49.3	61.1	65.8
Floraison.	13 sept.	19	77.3	76.1	85.3	»	98.7	78.0	98.8	92.3
Maturité	6 nov.	54	100.0	100.0	100.0	»	100.0	100.0	100.0	100.0
b. — *Plante entière.*										
Épiage	25 août	»	63.1	61.7	73.8	»	90.4	58.0	81.1	79.7
Floraison.	13 sept.	19	81.7	80.4	90.0	»	99.0	75.7	99.1	92.2
Maturité	6 nov.	54	100.0	100.0	100.0	»	100.0	100.0	100.0	100.0
5. — ESSAI DE BRETSCHNEIDER.										
Épiage	19 juin	48	27.2	26.9	43.2	40.2	56.2	43.5	45.8	33.8
Floraison.	8 juillet	19	79.0	78.0	87.0	90.7	100.0	100.0	90.8	78.7
Commencement de la maturité.	28 juill.	20	80.7	80.7	79.6	92.3	92.3	73.4	78.6	75.2
Maturité	6 août	9	100 0	100.0	100.0	100.0	86.2	97.0	100.0	100.0
6. — ESSAIS DE DEHÉRAIN, MEYER ET NANTIER (*l. c.* p. 158).										
a. — *Essai de* 1879.										
	31 juill.	»	91.0	»	89.5	67.5	»	»	»	»
	13 août	»	100.0	»	100.0	100.0	»	»	»	»
	16 août	»	93.6	»	93.2	81.5	»	»	»	»
	19 août	»	71.0	»	58.0	62.8	»	»	»	»
	22 août	»	68.0	»	52.4	58.5	»	»	»	»
b. — *Essai de* 1880.										
	6 juillet	»	43.8	»	58.5	56.8	»	»	»	»
	12 juill.	»	55.9	»	67.8	75.0	»	»	»	»
	18 juill.	»	68.9	»	64.2	83.5	»	»	»	»
	7 août	»	100.0	»	100.0	100.0	»	»	»	»
c. — *Essai de* 1881 (*sans engrais*).										
Épiage	8 juillet	»	89.7	»	93.9	90.0	»	»	»	»
Floraison.	18 juill.	»	97.5	»	100.0	99.1	»	»	»	»
Maturité [1]	31 juill.	»	100.0	»	85.0	100.0	»	»	»	»
—	6 août	»	96.4	»	78.2	121.0	»	»	»	»
d. — *Essai de* 1881 (*fumé avec du fumier d'étable*).										
Épiage	8 juillet	»	87.7	»	99.4	93.9	»	»	»	»
Floraison.	18 juill.	»	100.0	»	100.0	100.0	»	»	»	»
Maturité [2]	31 juill.	»	96.4	»	82.7	93.6	»	»	»	»
—	6 août	»	122.0	»	112.2	152.4	»	»	»	»

1. Après le commencement de la maturité complète en 6 jours, augmentation de 21 p. 100.
2. Énorme augmentation après le commencement de la maturité complète.

PÉRIODE DE VÉGÉTATION.	DURÉE DE LA PÉRIODE.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
RÉSULTATS MOYENS DES ESSAIS CI-DESSUS									
a. — *Moyennes effectives.*									
A. — Avant l'épiage.	Après la levée ca . . . . . 16 jours.	10.2	9.5	20.9	25.2	(1)	(1)	(1)	(1)
B. — Commencement de l'épiage.	Après la période A ca. . . 20 —	29.0	28.3	41.3	50.5	53.5	41.9	37.3	35.4
C. — Période de la floraison.	Après la période B ca. . . 22 —	74.1	73.5	81.8	81.2	99.8	86.6	75.8	73.6
D. — Commencement de la maturité	Après la période C ca. . . 20 —	90.2	90.0	91.4	89.2	88.1	89.3	87.8	82.9
E. — Pleine maturité	Après la période D ca. . . 13 —	100.0	100.0	99.7	99.7	82.6	96.0	96.6	99.4
b. — *Valeurs moyennes corrigées, c'est-à-dire les maximums effectifs étant posés = 100.0.*									
A. — Avant l'épiage.	Après le lever ca . . . . . 16 jours.	10.2	9.5	21.0	25.3	27.2	22.2	19.6	18.0
B. — Commencement de l'épiage.	Après la période A ca. . . 20 —	29.0	28.3	41.4	50.7	53.6	43.7	38.6	35.6
C. — Période de la floraison.	Après la période B ca. . . 22 —	74.1	73.5	82.1	81.5	100.0	90.3	78.5	74.1
D. — Commencement de la maturité. . . .	Après la période C ca. . . 20 —	90.2	90.0	91.7	89.5	88.3	93.1	90.9	83.4
E. — Pleine maturité	Après la période D ca. . . 13 —	100.0	100.0	100.0	100.0	82.3	100.0	100.0	100.0

1. Calculé en b selon les indications de la période B d'après l'équation : Principes minéraux B : Principes minéraux A = 53.6, etc. : X.

Différence entre les exigences de l'orge et de l'avoine relativement à la richesse du sol.

Maintenant que nous avons appris à connaître la marche de l'absorption des principes nutritifs chez l'orge et l'avoine, il s'agit de savoir pourquoi l'avoine exige un sol moins riche que l'orge, bien qu'elle lui enlève plus d'éléments nutritifs que cette dernière. Nous avons déjà indiqué plus haut quelle importance il faut attacher au fait que, chez l'avoine, la première période de végétation dure beaucoup plus longtemps que chez l'orge, et nous avons dit que c'est là peut-être une des causes de la différence des exigences en engrais entre l'orge et l'avoine. Certainement d'autres différences spécifiques dans la croissance des deux plantes jouent également un grand rôle dans cette question, et je voudrais tout de suite en indiquer une qui me paraît d'une importance particulière. Je veux parler de la différence entre le nombre des racines chez l'orge et l'avoine et de la différente quantité de travail qui en résulte, ainsi que de la période inégale pendant laquelle les racines sont en activité. Je suis d'autant plus disposé à traiter ici cette question importante que ce sont précisément les études sur l'orge et l'avoine qui nous fournissent sur elle le plus de documents. Déjà souvent on a tenté de tirer du développement du système radiculaire des conclusions relatives au besoin d'engrais chez les plantes culturales, mais il était impossible d'arriver à un résultat, notamment parce qu'on n'avait pas assez fait ressortir que, dans ces questions, on ne pouvait comparer que les racines de plantes, premièrement, se ressemblant physiologiquement, assez pour qu'on puisse admettre avec raison que le même nombre, la même longueur ou le même poids de plantes de différentes espèces, ayant crû dans les mêmes conditions, représentent une force égale dans l'absorption des principes nutritifs. En second lieu la comparaison des quantités de racines suppose aussi que l'activité des racines suit une marche parallèle dans le temps, car les racines de deux plantes, ayant une égale puissance de travail, peuvent avoir à accomplir une tâche tout à fait différente, si une plante a besoin d'une quantité déterminée d'éléments nutritifs

en un petit nombre de semaines, tandis que l'autre exige seulement, afin que sa croissance soit normale, qu'on lui donne la même quantité d'éléments nutritifs peu à peu dans le cours de plusieurs mois. En conséquence, quoique d'après cela nous n'ayons jamais le droit de nous servir des quantités de racines que nous trouvons dans un cas chez l'orge, et dans un autre cas chez le trèfle, par exemple, pour tirer des conclusions relatives aux exigences de ces deux plantes en éléments nutritifs, nous pouvons l'essayer très bien en comparant l'avoine et l'orge. Mais il faut avoir la précaution d'employer pour cette comparaison uniquement des plantes qui ont crû dans les mêmes conditions de végétation, car les conditions de nutrition exercent sur le développement des racines une influence énorme, comme l'ont démontré les essais de Nobbe, Haberlandt, Heinrich et d'autres savants.

C'est pourquoi il peut être intéressant de grouper les résultats qui ont été constatés jusqu'ici, dans la détermination de la quantité des racines chez l'orge et l'avoine.

Stöckhardt a publié (*Tharander Jahrbuch*. Nouv. série, II, p. 247-152 et ibid., III, p. 287-295) un certain nombre de recherches qu'il faut mentionner ici. En prenant des degrés de développement égaux, il a calculé, d'après 7 séries d'essais avec de l'orge et 6 séries avec de l'avoine, que sur cent parties de la plante totale il en revenait aux racines :

	CHEZ L'ORGE.	CHEZ L'AVOINE.
	P. 100.	P. 100.
Peu de temps avant l'épiage	10.50	11.2
Commencement de la floraison	5.2	7.5
Maturité	4.7	4.4

John calcule (*Annalen der Landwirthschaft,* XVII, p. 325), d'après ses recherches faites à Proskau, que les racines restant en terre sur un hectare pouvaient être évaluées pour l'orge à 1658 kilogr., pour l'avoine à 2115 kilogr.

Schuhmacher (*Statik,* p. 157) calcule que les racines restant en terre sur un arpent pouvaient être évaluées pour l'orge à 260 livres, pour l'avoine à 500 livres.

Hosaeus (*Fühlings. Neue. Landw. Zeitung,* IX, p. 19) dans une

culture en pots dans le même sol a trouvé par tige : pour l'avoine 1g,6 — 3g,5 — 1g,7, pour l'orge 1,3 g. de racines.

Heinrich (*Annalen des Mecklenburger Patriotischen Vereins*, 1876, n° 7) a trouvé, pour des tiges ayant crû dans des caisses, dans des conditions égales :

	LONGUEUR des racines.	POIDS des racines séchées à l'air.
	Mètres.	Grammes.
Orge	1,90	27,5
Avoine	2,27	43,75

Werner et Weiske (*Werner Futterbau,* p. 169) ont calculé que les racines restant en terre sur 1 hectare pouvaient être évaluées pour l'orge à 2226kg,9, pour l'avoine à 4725kg,7.

Haberland (*Pflanzenbau,* p. 147) admet que la quantité de racines pour la récolte entière est, chez l'orge, de 8.7 p. 100, chez l'avoine de 10 p. 100.

Certes, en parcourant les ouvrages agricoles, on pourrait trouver un plus grand nombre de recherches, mais celles que j'ai citées suffisent, je l'espère, pour établir d'une façon incontestable que, dans les mêmes conditions de végétation, l'enracinement de l'avoine est beaucoup plus fort que celui de l'orge.

Dans ses mensurations de racines (*Versuchsstationen,* XVIII, p. 279) Nobbe, en mesurant chaque fois une tige annuelle, a trouvé :

	EPICÉA.	SAPIN.	PIN.
Somme de la longueur de toutes les radicelles.	$1^{m},941$	$0^{m},992$	$11^{m},88$
Superficie de toutes les radicelles	$41^{cm^2},39$	$24^{cm^2},52$	$205^{cm^2},15$
Poids de la substance sèche des racines	63 milligr.	90 milligr.	222 milligr.

C'est à bon droit qu'il a aperçu dans ce fait la raison pour laquelle le pin se montre si peu difficile à l'égard de la richesse du sol.

De même nous pouvons admettre comme absolument probable que le développement du système radiculaire, qui est bien plus développé chez l'avoine que chez l'orge, explique pourquoi la première peut tirer les éléments nutritifs qui lui sont nécessaires d'un sol bien

plus pauvre que la seconde ne saurait le faire. Mais cela explique-t-il suffisamment pourquoi nous voyons si souvent l'avoine cultivée à la fin d'une rotation, tandis que l'on croit ne pouvoir offrir à l'orge qu'un champ bien fumé ? Mais si nous nous représentons les choses dans leur réalité, nous verrons, par exemple d'après Gohren (*Agrikulturchemie,* 1867, I, p. 625) que les parties aériennes ont enlevé au sol, dans une récolte moyenne par hectare, suivant la plante cultivée :

	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Orge.	43,32	28,31	7,97	5,76	16,74
Avoine	70,46	60,88	23,10	13,11	23,29

Si l'on compare ces nombres aux quantités de racines indiquées plus haut, on ne peut cependant pas déclarer tout simplement que l'un de ces faits explique l'autre. Si nous ne savions pas déjà, d'après ce qui a été dit plus haut sur la marche suivie par l'orge et l'avoine dans l'absorption des principes nutritifs, que la dernière, non seulement possède des racines plus nombreuses, mais qu'elle absorbe aussi ses aliments plus lentement et pendant une période plus longue, nous serions certainement bien embarrassés, en présence des exigences plus grandes de l'avoine, d'expliquer par le nombre de ses racines ses moindres exigences relativement au sol. Mais si la combinaison des deux phénomènes fournit la solution de notre problème, il faut que cela puisse se prouver mathématiquement, dans le cas où, parmi les travaux publiés sur l'absorption des principes nutritifs par l'avoine et l'orge, il se trouve des essais directement comparables entre eux, et qui aient trait non seulement aux parties aériennes, mais encore aux racines. En effet, nous avons des essais de ce genre, et ils démontrent qu'une quantité déterminée de racines d'avoine, malgré les exigences plus grandes de cette plante en fait de principes nutritifs, a cependant à fournir dans l'unité de temps un moindre travail d'absorption, qu'une quantité égale de racines d'orge. Je parle des essais de Stöckhardt (*Tharander Jahrbuch*. Nouv. série, III, p. 287). L'exemple suivant montrera comment on s'en est servi pour faire le calcul en question :

Calcul de l'absorption journalière des racines d'avoine Essai « sans engrais » de Stöckhardt. La période de la plus forte absorption avant l'épiage, si nous en reportons le commencement au dixième jour après les semailles, a duré du 30 mai au 5 juillet, par conséquent 36 jours. La quantité de racines à la fin de la période était pour 1000 tiges, 26 g. Si nous posons cette quantité au commencement de la période = 0, nous avons à mettre en ligne de compte une quantité moyenne de racines avec 13 g. de substance sèche par 1000 tiges exerçant leur activité pendant 36 jours. Mais, en somme, le travail fourni a consisté dans l'absorption, par mille plantes, de 1g,811 d'azote et de 27g,908 de principes minéraux. Si nous divisons ces derniers nombres par 13 × 36, nous arrivons à ce résultat que 1 g. de substance sèche de la racine a absorbé en moyenne par jour 0,00039 g. d'azote et 0g,0596 de principes minéraux. D'après une méthode exactement semblable, on a calculé le travail des racines pendant les périodes suivantes du même essai, ainsi que le travail correspondant des racines de l'orge. Dans ce dernier, cependant, le calcul n'a été fait que pour l'azote, car on n'a pas déterminé la teneur en cendres de la substance sèche des racines.

Pour les autres séries d'essais de Stöckhardt, on a fait les mêmes calculs, car d'après les indications de Stöckhardt, il s'est produit dans le reste des essais d'orge, dont nous n'avons pas pu nous servir plus haut, une croissance anormale à partir de l'époque de la floraison ; mais antérieurement le développement était vigoureux, de sorte que nous n'avons certainement pas pu prendre en considération les résultats de la dernière période, mais que nous pouvions bien utiliser ceux des deux premières. Nous avons dû seulement laisser de côté les essais de guano qui n'ont pas mieux réussi pour l'orge que pour l'avoine. Les résultats de ces calculs sont exposés dans le tableau suivant :

TABLEAU.

Absorption quotidienne de principes nutritifs par 1 gr. de substance sèche des racines, d'après les essais de Stöckhardt.

ESPÈCE de fumure.	PÉRIODE DE VÉGÉTATION.	ORGE. — AZOTE.	AVOINE. AZOTE.	AVOINE. PRINCIPES minéraux.
		mg.	mg.	mg.
Sans fumure.	I. — Depuis le lever jusqu'à l'épiage. . . .	55	39	506
	II. — Depuis l'épiage jusqu'à la floraison. .	22	24	188
	III. — Depuis la floraison jusqu'à la maturité.	6	»	75
6 quintaux de poudre d'os par arpent. . .	*Ut suprà.*	81	58	620
		14	27	609
		minus	24	210
3 quintaux de nitrate de soude par arpent.	*Ut suprà.*	106	94	613
		64	42	480
		minus	2	95
2 quintaux de guano et 1 demi quintal de nitrate de soude . .	*Ut suprà.*	137	82	509
		54	22	368
		minus	4	41
Moyenne.	*Ut suprà.*	95	68	605
		39	29	411
		»	»	105

Tous les quatre essais nous montrent la même chose, car partout nous constatons que, principalement dans la première période jusqu'à l'épiage, la même quantité de substance radiculaire de l'orge a à fournir un travail bien plus considérable que celle de l'avoine. Mais si 1 gr. de substance sèche de la racine de l'orge est obligé d'absorber 95 mg. d'azote dans le même espace de temps, où le même poids de racines d'avoine ne doit en fixer que 68 mg. d'azote, il n'y a guère d'objection à faire contre la conclusion, d'après laquelle, toute condition égale d'ailleurs, le champ d'orge doit nécessairement être plus riche en principes nutritifs que le champ d'avoine, pour que la végétation puisse être dans les deux cas également vigoureuse. Ainsi nous voyons réellement que, par le fait

que l'avoine a à sa disposition une plus grande quantité de racines et qu'elle absorbe les éléments nutritifs plus lentement et pendant un temps plus long que l'orge, on s'explique tout naturellement pourquoi les exigences, manifestées par l'avoine relativement à la richesse du sol, sont moindres que celles de l'orge, malgré une plus grande exigence en principes nutritifs.

C. — Seigle d'été.

Nous dirons seulement quelques mots du seigle d'été, parce que nous ne possédons à son sujet qu'une recherche peu détaillée, exécutée par Wolff en 1855. Les résultats de cet essai, exprimés en centièmes des quantités maxima, sont les suivants :

PÉRIODES DE VÉGÉTATION.	DATE.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.
Épis au moment de l'épiage	15 juin	34.5	33.5	57.4	37.4
Après l'achèvement de la floraison.	5 juillet	84.8	83.8	100.0	94.0
Maturité complète.	4 août	100.0	100.0	89.2	100.0

La marche suivie par l'absorption des principes minéraux concorde, d'après ce tableau, avec ce que nous avons appris à connaître ailleurs relativement aux céréales d'été. L'absorption de l'azote, au contraire, n'a montré dans la jeunesse de la plante qu'une augmentation très peu importante. Il est à désirer que les essais soient répétés, en ayant aussi égard aux différents éléments constitutifs des cendres, avant qu'on ne tire des conclusions de l'essai précédent.

D. — Froment d'hiver.

Quant au froment d'hiver, nous avons les essais suivants, qui nous permettent de suivre la marche de l'absorption des principes nutritifs.

1. Cinq essais de Wolff, des années 1856-1857. Le froment a toujours occupé le 2e rang dans la rotation, et s'est développé d'une manière satisfaisante. Une fois (pour le froment de Talavera, 1856-1857), 48.3 p. 100 des épis furent déclarés attaqués de la rouille, ce qui permet de supposer avec quelque probabilité que les autres essais aussi auront souffert plus ou moins de cette maladie.

Dans ces essais on a souvent déterminé le poids et la nature des organes aériens de la récolte, mais malheureusement et on ne s'est pas occupé du développement des plantes avant l'hiver et au commencement du printemps.

Pour les recherches de l'année 1855, dans lesquelles les cendres n'ont pas été analysées, Wolff a calculé, d'après des essais simultanés et analogues, dans lesquels le total de la récolte n'a pas été déterminé, les quantités des différents éléments minéraux. Mais comme dans une publication suivante, sur le même sujet, il ne fait pas usage des résultats ainsi obtenus, nous les avons insérés dans le tableau principal, sans nous en servir dans la discussion.

2. Deux séries d'essais de Is. Pierre des années 1861-1862 et 1863-1864. (Compt. rend., t. 68, p. 1526.) Dans ces essais aussi, on a laissé de côté le développement pendant l'hiver et l'appareil radiculaire. La première fois les champs avaient été fumés avec du compost, la seconde avec des boues de rues, qui étaient très riches en chlorure de sodium.

3. Une série d'essais de Dehérain et Meyer, de l'année 1880 (*Annal. agron.* 1882, t. VIII, H. I, p. 23). Parmi les éléments qui nous intéressent, on a seulement déterminé la substance sèche, les principes minéraux, l'azote et l'acide phosphorique. Mais dans l'une des deux premières déterminations d'acide phosphorique (probablement dans la seconde) il doit s'être glissé une erreur, car il me semble impossible que, dans des conditions normales, la teneur des parties aériennes de la récolte en acide phosphorique pût, du 13 mai au 13 juin, descendre par hectare, de 25 à 15 kilogr. pendant que la végétation marche si vigoureusement qu'il se produit 850 kilogr. de substance sèche.

Si l'on veut tirer une conclusion quelconque de cet essai présentant évidemment des erreurs, on peut dire seulement : il semble en

résulter que le 31 mai presque toute la masse des principes nutritifs ait été absorbée, tandis que la moitié seulement de la substance organique était formée.

Dans ces conditions il est peut-être plus exact de citer uniquement les résultats principaux de la recherche, comme je l'ai fait, et de ne pas s'en servir pour calculer de valeurs moyennes.

4. Enfin, il faut encore citer une recherche de Heinrich (*Annalen der Landwirtschaft,* 50, p. 314). Malheureusement on n'a pas pu se servir de ce travail pour calculer la marche de l'absorption des principes nutritifs, parce qu'on a basé le calcul, non point sur un certain nombre de plantes entières ou sur un certain espace de terrain, mais sur cent chaumes. En outre on n'a pas examiné les grains qui se trouvaient dans chaque épi, mais on a calculé la teneur des grains dans l'hypothèse que 100 chaumes avaient 2600 ovaires ou grains. Or ni tous les chaumes ni tous les ovaires n'arrivent à plein développement; c'est pourquoi les résultats des recherches de Heinrich ne peuvent pas bien s'appliquer à notre but actuel.

Le premier degré de développement qui ait été étudié, c'est le commencement de l'épiage ; les 3 analyses faites ont donné les résultats suivants :

On a trouvé en centièmes des quantités maxima :

PÉRIODE A.	DATE.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
Wolff. Froment d'hiver 1856-1857. .	2 mai	18.7	17.6	55.1	27.0	49.8	47.7	16.7	28.2
— Froment Talavera — . .	2 mai	15.0	14.4	40.3	23.1	37.2	39.1	9.8	24.2
Pierre. Essai de 1861 1862	19 avril	14.0	13.6	48.9	21.7[1]	38.2	36.7	33.7	38.3
Moyennes.	»	15.9	15.2	48.1	23.9	41.7	41.2	20.1	30.2
Rapport entre la substance organique produite et les principes nutritifs absorbés.	»	»	100	316	157	274	271	13.2	199

1. Sans acide carbonique, acide sulfurique ou chlore ; cette observation se rapporte aussi aux calculs suivants de Pierre.

Le froment d'hiver présente donc, pendant la première période

de végétation, avant l'épiage, une absorption très forte de principes nutritifs, dans les mêmes proportions que l'orge d'été. Comme le montre la dernière ligne du tableau précédent, cette absorption est relativement 2 à 3 fois aussi considérable que la production de substance végétale pendant le même espace de temps, et elle serait peut-être encore plus grande, si nous avions à notre disposition des analyses de racines faites simultanément.

Dans la première période du développement, le froment semble exiger, dans de fortes proportions d'abord de l'azote, ensuite de la chaux et de la potasse, et, après cela, de l'acide phosphorique. Bien que la longueur de la période disponible pour l'absorption de ces matières (journées chaudes de l'automne et de l'hiver) facilite certainement cette dernière, elle n'est cependant possible que dans un bon sol ou un sol bien fumé, comme le montrent les exigences du froment.

Le deuxième degré de végétation, sur lequel nos essais nous donnent des renseignements, doit être désigné comme la période de l'épiage; elle s'étend du moment où l'épi n'est pas encore développé dans l'intérieur des feuilles enroulées sur elles-mêmes jusqu'au moment où les épis sont développés, mais ne sont pas encore sortis de la gaine foliacée. Les recherches suivantes nous donnent des renseignements sur la situation pendant cette période.

B. AVANT LA SORTIE DE L'ÉPI.	DATE.	JOURS après la période A.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
1. Wolff. Froment de Winterigel 1854-1855.	15 juin	»	32.0	30.6	43.3	49.2	»	»	»	»
2. Wolff. Froment de Talavera 1854-1855.	15 juin	»	39.5	38.5	72.1	55.1	»	»	»	»
3. Pierre. Essai de 1861-1862. . .	16 mai	27	33.5	32.8	79.1	45.3	52.9	64.6	78.7	71.8
4. — — 1863-1864. . .	11 mai	»	22.6	21.6	56.7	44.1	78.9	55.8	46.5	52.4
Moyenne de 1-4.	»	»	31.9	30.9	62.8	48.4	»	»	»	»
— 3-4.	»	»	28.0	28.0	67.9	44.7	65.9	60.2	62.6	62.1

D'après les autres chiffres de A et B, nous avons bien le droit de con-

sidérer la faible teneur en azote dans B 1 comme anormale, et le procédé le plus exact pour la construction des courbes consistera à se servir, pour cette deuxième période de végétation, uniquement des résultats moyens des essais plus complets de Pierre qui, à l'exception de la détermination d'azote du n° 1, sont encore confirmés par les nombres de Wolff.

Pendant la période des quatre semaines qui précèdent la sortie de l'épi, il aurait donc été absorbé ou mieux formé en centièmes des quantités maxima :

12.1 p. 100 de substance sèche, 12.8 p. 100 de substance organique, 19.8 p. 100 d'azote, 20.8 p. 100 de principes minéraux, 24.2 p. 100 de potasse, 19 p. 100 de chaux, 42.5 p. 100 de magnésie, 31.9 p. 100 d'acide phosphorique.

Même si nous admettons que les deux derniers chiffres ont atteint une valeur anormale par suite de circonstances accidentelles, nous avons cependant à consigner, pour cette période, une absorption de principes nutritifs, relativement deux fois plus forte que la production de substance organique et qui, prise d'une manière absolue, est également très considérable.

C. Sur une troisième période, caractérisée par le développement des épis et le commencement de la floraison, nous possédons les recherches suivantes :

PÉRIODE C.	DATE.	JOURS après la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
1. Wolff. Froment de Wintergel. 1854-1855. .	5 juillet	20 après B	59.8	58.9	71.2	67.3	»	»	»	»
2. — Froment de Talavera. 1854-1855 . .	5 juillet	20 après B	68.2	67.4	89.2	80.5	»	»	»	»
3. — Froment de Wintergel. 1855-1856. .	13 juin	»	73.6	71.1	77.1	100.0	100.0	100.0	95.4	90.7
4. Pierre. 1861-1862.	13 juin	28 après B	76.5	76.2	99.3	83.6	87.2	93.3	92.5	88.8
5. — 1863-1864.	3 juin	23 après B	49.5	48.5	58.0	63.3	83.9	69.3	49.2	63.6
Moyenne de 1-5.	»	23 après B	65.5	64.4	79.0	78.9	»	»	»	»
Moyenne de 3-5.	»	»	66.5	65.3	78.1	82.3	90.4	87.5	79.0	81.0

Nous remarquerons d'abord que les n[os] 1 et 2 ont été insérés dans ce tableau, parce que, d'après le développement des tiges et l'intervalle qui les sépare de B (et de E), ils doivent être placés ici, quoique leur auteur les désigne comme étant non au commencement, mais à la fin de la floraison. Bien que les résultats moyens des n[os] 1-5 soient entièrement conformes à ceux des n[os] 3-5, ces derniers étant plus complets, nous préférons ceux-ci pour la construction de nos courbes.

Si nous comparons entre elles les périodes B et C, nous voyons qu'il a été formé ou bien absorbé, en centièmes des quantités maxima :

p. 100.		p. 100.	
38.5	de substance sèche.	24.5	de potasse.
37.3	— organique.	27.3	de chaux.
10.2	d'azote.	16.4	de magnésie.
37.6	de principes minéraux.	18.9	d'acide phosphorique.

Comparativement aux périodes antérieures, nous avons donc un ralentissement notable dans l'absorption des principes, tandis qu'en tenant compte des aliments absorbés antérieurement, nous avons une augmentation considérable dans la production de substance sèche. C'est surtout l'absorption d'azote, de magnésie et d'acide phosphorique qui a diminué ; celle de potasse et de chaux est devenue aussi moins forte. La probabilité que le degré de l'intensité avec laquelle les principes nutritifs sont absorbés finalement est déjà dans un rapport normal avec l'évaporation par les feuilles, se trouve établie par le fait que, parallèlement à l'évaporation par les feuilles ou, en d'autres termes, à la production de la substance organique, l'absorption des principes moins importants pour la plante, a également augmenté. Nous n'avons pas cité ces derniers, à savoir l'acide silicique, le fer, la soude, le chlore, l'acide sulfurique, un à un ; mais leur quantité trouve son expression dans l'augmentation de la masse totale des cendres.

D. Sur la quatrième période de la vie des tiges de froment, caractérisée par la perte des fleurs, par conséquent par le commen-

cement de la formation des grains, nous possédons les recherches suivantes :

PÉRIODE D.	DATE.	JOURS après la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
1. Wolff. Froment de Winterigel 1856-1857. .	15 juin	44 après A	84.5	83.8	92.0	94.7	100.0	100.0	70.0	100.0
2. — Froment de Winterigel 1855-1856. .	5 juillet	22 après C	78.4	76.5	71.0	89.2	60.2	100.0	100.0	81.3
3. — Froment de Talavera 1856-1857 . .	15 juin	44 après A	84.2	83.3	100.0	89.4	100.0	97.7	64.6	94.8
4. Pierre 1861-1862	29 juin	16 après C	93.7	93.4	100.0	100.0	100.0	94.4	100.0	97.4
5. — 1863 1864	22 juin	19 après C	93.3	92.5	100.0	100 0	96.8	100.0	100.0	100.0
Moyennes	»	19 après C	86.8	85.9	92.6	94.7	91.4	98.4	86.9	94.7

Comme le montre un coup d'œil jeté sur ce tableau, au moment de la défloraison, l'absorption des principes nutritifs a le plus souvent atteint son point culminant, ou s'en est du moins rapprochée très fortement, tandis que la production de substance organique a encore beaucoup augmenté. Une comparaison des résultats moyens montre qu'il a été formé ou bien absorbé, en centièmes des quantités maxima :

P. 100.		P. 100.	
20.3	de substance sèche.	1.0	de potasse.
20.6	— organique.	10.9	de chaux.
14.5	d'azote.	7.9	de magnésie.
12.4	de principes minéraux.	13.7	d'acide phosphorique.

Comme dans la période précédente, dans celle-ci l'élaboration des principes absorbés dépasse de beaucoup l'absorption de nouveaux principes.

L'absorption diminue encore davantage pendant la période suivante du développement des grains, qui se termine par l'état de ma-

turité. Le tableau suivant nous donne les caractères de cette période :

PÉRIODE E. Commencement de la maturité.	DATE.	JOURS après la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
1. Wolff. Froment de Winterigel 1854-1855 . .	4 août	30 après C	100.0	100.0	100.0	100.0	»	»	»	»
2. — Froment de Talavera 1854-1855 . .	4 août	30 après C	100.0	100.0	100.0	100.0	»	»	»	»
3. Pierre 1861-1862	13 juillet	14 après D	100.0	100.0	93.8	99.0	77.8	100 0	87.5	92.5
4. — 1863-1864.	6 juillet	14 après D	100.0	100.0	94.1	87.2	100.0	91.4	89.1	94.8
Moyenne de 1-4.	»	»	100.0	100.0	97.0	96.5	»	»	»	»
Moyenne de 3-4.	»	»	100.0	100.0	94.0	93.1	88.9	95.7	83.3	93.6

A propos de ce qui se passe pendant la période E, nous dirons seulement que la formation de la substance organique continue avec une intensité à peu près égale à celle de la période antérieure. Çà et là nous trouvons encore une absorption minima, mais que le plus souvent celle-ci est nulle, et au moment où les fleurs se fanent, où les racines ne prennent plus rien au sol, on peut déjà constater, pour la potasse et la chaux, une diminution par exosmose (?) et par décomposition.

Pendant la période qui s'étend du commencement à l'achèvement de la maturité, les feuilles et la tige se vident au profit de la semence, la plante entière se dessèche, le chaume et les racines dépérissent. Il n'y a plus ni formation nouvelle de substance organique ni absorption de matière, et si, d'après les données du tableau suivant, l'une ou l'autre semble continuer encore, ce fait s'explique par des phénomènes secondaires, tel que le développement ultérieur de pousses accessoires, etc., ou parce que dans les recherches concernant la période E n'ont pas porté sur ce point.

TABLEAU.

PÉRIODE F. Pleine maturité.	DATE.	JOURS après la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
1. Wolff. Froment de Winterigel 1856-57 .	29 juill.	44 après D	100.0	100.0	100.0	100.0	65.9	89.3	100.0	98.3
2. — Froment de Winterigel 1855-56 .	1er août	27 après D	100.0	100.0	100.0	92.3	45.8	77.1	89.2	100.0
3. — Froment de Talavera 1856-57 . .	29 juill.	44 après D	100.0	100.0	81.2	100.0	73.0	100.0	100.0	100.0
4. Pierre 1861-68.	30 juill.	17 après E	99.7	99.9	92.7	97.1	76.6	80.2	93.7	100.0
5. — 1863-64.	25 juill.	19 après E	99.6	99.9	87.5	82.3	84.3	76.0	100.0	86.7
Moyenne	»	22 après E	99.9	100.0	92.3	94.3	69.1	84.5	96.6	97.0

Afin de permettre d'embrasser d'un seul coup d'œil l'ensemble des résultats moyens, nous en avons fait la représentation graphique dans la planche III ; la valeur moyenne la plus élevée de chaque colonne est égalée à 100 et les autres valeurs s'y rapportent. Le tableau ci-dessous indique la conversion entreprise dans ce but. Dans tous ces résumés d'ensemble nous n'avons eu spécialement en vue que les matières importantes au point de vue de la théorie des engrais ; nous voudrions cependant appeler l'attention sur le fait, qu'une comparaison de la courbe des cendres avec celle des autres principes nous démontre que l'absorption des substances peu importantes suit de préférence une ligne parallèle à la formation des substances organiques, par conséquent parallèle à l'absorption d'eau.

Tableau.

Marche moyenne suivie par le froment d'hiver dans l'absorption.

	JOURS de végétation.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
A. Depuis les semailles jusqu'au printemps.	?	15.9	15.2	49.6	24.8	45.6	41.9	20.8	31.2
B. Depuis A jusqu'au commencement de l'épiage.	environ 27	23.6	28.0	70.0	46.3	72.1	61.2	64.8	61.0
C. Depuis B jusqu'à la sortie des épis.	— 23	66.5	65.3	80.5	85.3	98.9	88.9	81.8	83.5
D. Depuis C jusqu'à la fin de la floraison	— 19	86.8	85.9	95 5	98.1	100.0	100 0	90.0	97.7
E. Depuis D jusqu'au commencement de la maturité. . . .	— 13	100.0	100.0	100.0	100.0	97.3	97.3	91.4	96.5
F. Depuis E jusqu'à la pleine maturité	— 22	99.9	100.0	95.2	97.7	75.6	85.9	100.0	100.0

Après avoir ainsi appris à connaître comment se comporte la partie aérienne de la tige du froment d'hiver, il s'agit encore de savoir jusqu'à quel point les notions ainsi acquises sont vraies, si l'on considère la plante entière, racines comprises. Malheureusement, il n'existe point d'essais qui se soient proposé comme but l'analyse quantitative de la plante entière. Cependant les recherches de Dehérain et Meyer nous offrent un point d'appui pour l'étude de cette question ; dans leurs travaux sur la végétation du froment, ils ont fait à plusieurs reprises des analyses quantitatives des racines, quand même ils n'ont pas déterminé chaque fois la quantité de ces dernières. En 100 parties de la substance sèche de la racine, ils ont trouvé :

	31 MAI.	13 JUIN.	16 JUILL.	23 JUILL.	30 JUILL.
Parties de cendres	13.50	7.29	7.66	7.80	7.86
— d'azote	1.01	0.78	0.51	0.40	0.34
— d'acide phosphorique . .	0.86	0.34	0.15	0.11	0.11

Comme nous savons, en outre, que chez toutes les céréales la quantité des racines pendant la jeunesse est relativement plus

grande qu'à l'époque de la maturité[1], nous pouvons affirmer, sans crainte de nous tromper, que le système radiculaire du froment remplit, entre autres fonctions, celle d'une réserve qui est pleine dans la jeunesse de la plante et se vide peu à peu. Mais si les jeunes racines accumulent une réserve de matière nutritive à la même époque que les parties aériennes de la jeune tige, nous devons admettre que l'absorption, telle qu'elle ressort de nos courbes, si considérable pendant la jeunesse en comparaison de la production de substance sèche, n'est nullement moindre dans la plante du froment prise dans sa totalité ; qu'elle dépasse même celle qui est indiquée dans notre diagramme pour les parties aériennes.

Quant à la fumure exigée par le froment, l'expérience pratique enseigne qu'il réclame surtout un champ ayant subi une bonne préparation mécanique et possédant une riche provision d'éléments nutritifs. On n'emploie pas volontiers du fumier d'étable et, là où l'on en fait usage, on le portera le plus tôt possible avant les semailles et à l'état de décomposition. Parmi les engrais artificiels, ceux que l'on préfère, sont la poudre d'os et des matières analogues contenant divers éléments nutritifs faciles à décomposer sans être directement solubles. Sur les sols froids, compacts, on donne le plus souvent la préférence aux superphosphates ammoniacaux. Dans les exploitations de betteraves, où l'on a coutume d'employer beaucoup d'acide phosphorique, on prétend que la fumure du froment avec du phosphore donne peu de résultats, tandis que l'on aime à fumer avec de l'azote en quantité modérée (à peu près 20 kilogr. par hectare, si le froment succède à des légumineuses ou à des fruits fortement fumés ; à la dose de 40 kilogr. s'il vient après des plantes estivales ou des betteraves non fumées). On emploie volontiers le nitrate de soude, que l'on apporte en partie en automne, en partie au printemps, mais, dans ce dernier cas, d'aussi bonne heure que

---

1. Pour le froment, cela est démontré par les essais de Schubert, Hellriegel et Dietrich (*Chemischer Ackersmann*, t. I, p. 193), dans lesquels les racines du froment d'hiver constituaient à la fin d'avril 40 à 50, mais, au commencement de juin, 22 p. 100 du poids de la plante totale. Dans ces essais la substance sèche des racines contenait, le 30 avril, 2.25 p. 100 et le 8 juin 1.6 p. 100 d'azote. Des résultats analogues ont été obtenus par plusieurs autres savants, Stöckhardt, Haberlandt, etc.

possible. Sur la question de savoir si l'on fait mieux de donner tout l'azote au printemps ou en automne, ou en partie dans la première saison, en partie dans la seconde, les avis sont partagés. Que l'accord ne règne pas sur la question de la fumure avec de la potasse, cela s'explique par le fait qu'ici, comme dans la plupart des autres cas, la plupart des bons sols possèdent une provision de potasse presque inépuisable ; là où il en est autrement, on vante aussi les résultats de la fumure avec de la potasse, pour le froment.

D'après tout ce qui vient d'être dit, je crois qu'on peut établir pour le froment la coordination suivante entre le besoin d'engrais et la marche de l'absorption des principes nutritifs :

Grande exigence en éléments nutritifs à partir des semailles en automne jusqu'à fin mai.	Nécessité de l'emploi d'engrais artificiels.
Durée probablement longue de cette période pendant la saison fraîche.	Ou bien du fumier d'étable fortement décomposé et porté de bonne heure dans les champs, ou bien des engrais de commerce agissant longtemps et cependant facilement décomposables.
Toutes les courbes des éléments nutritifs révèlent à cette époque la nécessité d'une forte alimentation.	Se garder d'employer des engrais ne contenant qu'un seul élément nutritif.
Les courbes d'azote et de potasse atteignent le maximum pendant ladite période.	Les engrais azotés sont indispensables sur tous les sols, les sels de potasse sur les sols pauvres en potasse.
La courbe d'acide phosphorique monte beaucoup moins haut.	Là où l'on a employé pour les betteraves, etc., beaucoup d'acide phosphorique, son effet est moins certain sur le froment.

Essais sur la marche suivie dans l'absorption des principes nutritifs par le froment, représentée en centièmes de la quantité maximum.

CARACTÉRISTIQUE des plantes.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.								
1. — ESSAIS DE E. WOLFF.										
a. — *Froment de Winterigel* 1856-1857 (*loc. cit.*, p. 273).										
Épiage	2 mai	?	18.7	17.6	27.0	55.1	49.8	47.0	16.7	28.2
Floraison	15 juin	44	84.5	83.8	94.7	92.0	100.0	100.0	70.0	100.0
Maturité	29 juillet	44	100.0	100.0	100.0	100.0	65.9	89.3	100.0	98.3

CARACTÉRISTIQUE des plantes.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.								
b. — *Froment de Winterigel* 1855-1856 (*loc. cit.*, p. 275).										
Commenc. de la floraison.	15 juin	?	73.6	71.1	100.0	77.1	100.0	100.0	95.4	90.7
Fin de la floraison.	5 juillet	22	78.4	76.5	89.2	71.0	60.2	100.0	100.0	81.3
Maturité	1 août	27	100.0	100.0	92.3	100.0	45.8	77.1	89.2	100.0
c. — *Froment de Talavera* 1856-1857 (*loc. cit.*, p. 278).										
Épiage.	2 mai	?	15.0	14.4	23.1	40.3	37.2	39.1	9.8	21.2
Floraison.	15 juin	44	84.2	83.3	89.4	100.0	100.0	97.7	61.6	94.8
Maturité	29 juillet	44	100.0	100.0	100.0	81.2	73.0	100.0	100.0	100.0
d. — *Froment de Winterigel* 1854-1855 (*loc. cit.*, p. 281).										
Épiage	15 juin	?	32.0	30.6	50.1	43.3	68.4	100.0	»	45.9
Fin de la floraison.	5 juillet	20	59.8	59.1	68.4	71.2	100.0	86.0	»	75.8
Presque mûr	4 août	30	100.0	100.0	100.0	100.0	70.3	64.1	»	100.0
e. — *Froment de Talavera* 1855 (*loc. cit.*, p. 281).										
Épiage	15 juin	?	39.5	38.5	55.1	72.1	64.3	100.0	»	50.5
Fin de la floraison.	5 juillet	20	68.2	67.4	80.5	89.2	100.0	93.4	»	89.3
Presque mûr	4 août	30	100.0	100.0	100.0	100.0	59.9	57.2	»	100.0
2. — ESSAIS DE IS. PIERRE.										
a. — *Essai de l'année* 1861-1862.										
Commencem. de l'épiage. .	19 avril	?	14.0	13.6	21.7	48.9	38.2	36.7	33.7	33.3
Épi encore nullement développé.	16 mai	27	33.5	32.8	43.3	79.1	52.9	64.6	78.7	71.8
Sortie des épis	13 juin	28	76.5	76.2	83.6	99.3	87.2	93.3	92.5	88.8
Fin de la floraison.	29 juin	16	93.7	93.4	100.0	100.0	100.0	94.4	100.0	97.4
Épis commençant à jaunir.	13 juillet	14	100.0	100.0	99.0	93.8	77.8	100.0	87.5	92.5
Maturité	30 juillet	17	99.7	99.9	97.1	92.7	76.6	80.2	93.7	100.0
b. — *Essai de l'année* 1863-1864.										
Depuis le commencement du développem. des épis.	11 mai	?	22.6	21.6	44.1	56.7	78.9	55.8	46.5	52.4
Épis développés.	3 juin	23	49.5	48.5	63.3	58.0	83.9	69.3	49.2	63.6
Fin de la floraison.	22 juin	19	93.3	92.5	100.0	100.0	96.8	100.0	100.0	100.0
Grains encore mous. . . .	6 juillet	14	100.0	100.0	87.2	94.1	100.0	91.4	89.1	94.8
Maturité	25 juillet	19	99.6	99.9	82.3	87.5	84.3	76.0	100.0	86.7
3. — ESSAI DE DEHÉRAIN ET MEYER.										
	31 mai	?	52.4	51.6	99.7	95.3	»	»	»	89.3
	13 juin	13	64.8	63.7	85.8	96.9	»	»	»	53.6
	16 juillet	33	93.7	93.6	96.6	96.9	»	»	»	100.0
	23 juillet	7	100.0	100.0	100.0	100.0	»	»	»	100.0
	30 juillet	7	72.2	71.6	83.4	76.6	»	»	»	85.7

E. — Seigle.

Le premier travail détaillé que nous ayons sur le seigle, est celui qu'a publié Schulz-Fleeth dans les *Annales de Poggendorf* (92, p. 419). Malheureusement les échantillons ont été, comme cela arrive souvent, mal choisis, car les matériaux pour les recherches ont été récoltés en diverses années et dans des champs différents. Ce travail ne peut donc pas nous servir. Il en est à peu près de même d'une seconde série de recherches, celles faites par Heiden, et publiées dans les comptes rendus de la Station d'expériences de Pommritz (1869, p. 68). Heiden s'est efforcé surtout d'avoir la masse complète des racines, et dans ce but il a fait enlever la terre de son champ sur une surface de 5 pieds carrés et à 4 pieds de profondeur. Il a cependant trouvé qu'une si petite surface ne pouvait pas fournir un échantillon moyen exact pour un champ semé à la volée, la différence des sols et la consistance des tiges présentant une trop grande variabilité. Cela resssort nettement du nombre des tiges récoltées à différentes époques sur des surfaces égales, car on a récolté ainsi sur 5 pieds carrés :

Peu de temps avant l'épiage . .	8 mai 1868. .	79	plantes avec	161	chaumes.
Au commencement de l'épiage. .	15 — . .	193	—	300	—
Époque de la floraison.	28 — . .	165	—	217	—
— maturité.	10 juillet 1868.	159	—	193	—

Naturellement on ne peut pas davantage établir une comparaison, pour le but que nous avons en vue, entre les rendements de surfaces si inégalement couvertes qu'entre les teneurs du même nombre de plantes, ayant à leur disposition des espaces si différents.

Le pénible travail de cet expérimentateur de si grand mérite ne peut donc pas servir de base à des conclusions certaines, mais je crois néanmoins devoir en calculer les résultats d'après la méthode employée jusqu'ici, afin d'en retirer quelques renseignements approximatifs sur la marche suivie par le seigle dans l'absorption des principes nutritifs. Voici le résultat de mes calculs :

DATES.	SUBSTANCE organique.	CENDRES sans sable.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
100 tiges entières contiennent gr.							
8 mai	147.655	17.700	4.608	3.919	1.748	0.817	1.433
15 mai	121.542	8.743	3.219	2.825	1.039	0.475	0.942
28 mai	158.467	9.393	2.512	2.882	1.187	0.559	0.946
10 juillet	260.530	9.577	3.582	2.800	1.455	0.759	1.535
La récolte de 5 pieds carrés contenait gr.							
8 mai	116.617	13.983	3.640	3.096	1.409	0.645	1.132
15 mai	240.772	17.311	6.374	5.595	2.057	0.941	1.865
28 mai	261.471	15.499	4.210	4.756	1.958	0.923	1.560
10 juillet	414.243	15.227	5.578	4.152	2.814	1.207	2.410

Certes, je ne vais pas trop loin en tirant de ces nombres la conclusion suivante : de même que le froment, le seigle absorbe déjà, très vraisemblablement dans la jeunesse, la plus grande partie de ses éléments minéraux. Il doit donc être rangé au nombre des plantes qui savent tirer le plus grand profit des aliments facilement solubles, contenus dans les engrais du commerce.

Mais cette conclusion, ou plutôt ce parallèle entre le seigle et le froment ne serait-il pas en contradiction avec les expériences de l'agriculture, d'après lesquelles le seigle est bien moins exigeant que le froment sous le rapport du sol et de l'engrais? A première vue, oui; mais, en y regardant de plus près, on verra que cette contradiction n'existe pas.

Dans le climat insulaire et humide du Japon, on peut voir croître du beau froment sur le plus léger sable des dunes, et cette plante se plaît aussi très bien dans les terrains sablonneux et bien arrosés des environs de Berlin, car la raison principale pour laquelle le froment ne prospère pas sur nos sols de qualité médiocre, c'est que ceux-ci ne possèdent pas l'humidité nécessaire à ce végétal, humidité dont le seigle sent moins le besoin. En outre, le seigle, probablement à cause de son système radiculaire plus développé, possède la faculté de tirer ses aliments des sols pauvres.

Werner[1], par exemple, calcule que, sur 1 hectare de froment, il reste dans la terre 3 888^{kg},3 de racines, tandis que sur 1 hectare de seigle il en reste 5 887^{kg},0. Nobbe[2] a trouvé pour une plante de froment 10 737 racines d'une longueur totale de 82^{m},425, tandis que pour une plante de seigle il a trouvé 16 005 racines avec une longueur totale de 118^{m},598.

Nous rencontrons donc ici entre l'enracinement du seigle et celui du froment un rapport analogue à celui que nous avons déjà constaté chez l'avoine et l'orge. A la vérité, nous pouvons seulement conjecturer que le résultat final d'un examen détaillé de ces deux plantes serait le même, car jusqu'ici nous ne possédons pas les éléments nécessaires pour cet examen. J'ai donc entrepris des recherches sur la végétation du seigle, et peut-être pourrai-je, dans un an, rendre compte des résultats obtenus.

F. — Orge d'hiver.

La marche suivie par l'orge d'hiver dans l'absorption des éléments nutritifs ressemble beaucoup à celle que suit le froment. Nous ne possédons sur cette question que deux essais exécutés par Wolff en 1855-1856 et 1856-1857. Dans le premier de ces deux essais, l'orge avait succédé à du trèfle, et le champ avait reçu 243 quintaux de fumier d'étable. « Sous l'influence d'une fumure fraîche et d'un temps très humide, l'orge a formé beaucoup de paille, mais relativement peu de grains. »

Ainsi s'exprime Wolff, tandis qu'au sujet de l'orge d'hiver du second essai, qui fut plantée dans un champ de colza d'été bien fumé, il dit : « Le temps aussi favorisa beaucoup le développement normal de la plante entière, mais particulièrement des graines... » A cela s'ajoute que dans le premier essai le premier échantillon fut seulement cueilli après la floraison; cet essai ne fournit donc aucun renseignement sur la période la plus importante de l'absorption des principes nutritifs. Aussi nous sommes fondé à n'attacher de l'importance pour notre étude qu'aux nombres du deuxième essai. Les

1. Werner, *Futterbau auf dem Ackerlande*, p. 169.
2. Nobbe, *Chemischer Ackersmann*, 1869, p. 78.

nombres proportionnels (en centièmes des quantités maxima) qui ont été calculés d'après les deux essais, sont les suivants :

PÉRIODES de végétation.	DATE.	JOURS avant la pleine maturité.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	PRINCIPES minéraux.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
WOLFF. — ESSAI DE L'ANNÉE 1855-1856.										
Après la floraison. . . .	13 juin.	?	71.6	71.4	77.2	99.9	79.4	82.5	89.5	100.0
Maturité	5 juillet.	22	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.1
WOLFF. — ESSAI DE L'ANNÉE 1856-1857.										
Épiage	2 mai.	?	16.3	15.8						
Fin de la floraison . . .	15 juin.	44	71.8	71.4						
Maturité	4 juillet.	19	100 0	100.0						

Si, en raison de ce que nous avons dit plus haut, nous renonçons à tenir compte du premier essai, l'orge d'hiver, d'après le deuxième essai, se comporte de la façon suivante :

L'absorption des principes nutritifs atteint son intensité maxima avant l'épiage et diminue un peu dans les périodes suivantes. Sur 100 parties de substance organique formée, nous trouvons, d'après les indications du tableau ci-dessus, qu'il est absorbé :

PÉRIODES de végétation.	DATES.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
Depuis la levée jusqu'à l'épiage.	13 sept. 1856. — 2 mai 1857.	100	151	233	304	203	111	127
Depuis l'épiage jusqu'à la floraison	2 mai 1857. — 15 juin 1857.	100	100	44	93	122	109	94
Depuis la floraison jusqu'à la maturité.	15 juin 1857. — 4 juillet 1857.	100	70	135	Dim.	Dim.	75	97

Si nous examinons ces nombres, nous pouvons voir, encore plus clairement que dans le premier tableau, combien l'absorption pré-

domine pendant la première période jusqu'à l'épiage; la potasse et l'azote occupent le premier rang; ensuite vient la chaux, tandis que l'absorption d'acide phosphorique et de magnésie ne dépasse que faiblement la production de substance organique. L'absorption de la chaux et de la magnésie continue de prédominer encore, dans une faible mesure, pendant quelque temps après l'épiage, ensuite elle suit une ligne parallèle à la production de substance sèche jusqu'à ce que le maximum ait été atteint. L'azote seul semble faire exception, car, pendant la seconde période, il est absorbé en quantité excessivement faible. Cette allure s'éloigne tellement de celle que nous avons observée chez le blé, que je serais disposé à supposer ici une erreur; cette supposition se présente d'autant plus facilement à notre esprit que nous nous trouvons ici en présence d'une exception à la règle qui a été tirée des essais de Wolff sur l'orge, et d'après laquelle la teneur centésimale en azote de la substance sèche de la récolte est moindre à l'époque de la maturité qu'à l'époque de la floraison.

D'après ce qui a été dit, nous conjecturons que l'orge d'hiver éprouve, comme le froment, un notable besoin d'engrais azotés, de même qu'elle réclame de la chaux et de la potasse dans les sols pauvres en ces principes; elle semble également désirer de l'acide phosphorique, mais le besoin en est moins vif. Cependant je ne sais pas jusqu'à quel point cette conjecture répond à la réalité.

G. — Maïs.

Une très petite quantité des nombreuses recherches faites sur la croissance du maïs est propre à nous fournir des renseignements sur la marche suivie par cette plante dans l'absorption des principes nutritifs et la production de substance.

1. — Nous citerons en première ligne le travail de Hornberger (*Landw. Jahrb.* 1882, p. 359) qui est parfaitement réussi et fait de main de maître. Pour ses vastes recherches il s'est servi des échantillons obtenus par Kreusler, Prehn et Hornberger (*Landw. Jahrb.* 1879, p. 617), en vue de déterminer l'augmentation en poids sec du maïs. Ces échantillons ont été recueillis avec le plus grand soin, et

Hornberger a soumis à une analyse spéciale et séparée les différents organes de la plante. Pour notre but, ce sont naturellement les additions indiquant la teneur de mille plantes en éléments constitutifs qui offrent la plus grand intérêt. (*Loc. cit.*, p. 416 et 418.)

2. En seconde ligne, nous devons citer le travail de Weiske (*Landw. Jahrb.*, VIII, 833), qui a également recueilli ses échantillons à des intervalles d'une semaine. Comme Weiske s'est surtout proposé de déterminer la valeur du maïs comme fourrage, nous pouvons seulement utiliser, pour les questions qui nous occupent ici, ses indications relatives à la production de substance sèche, de cendres, d'azote et de phosphore. Un regard jeté sur les courbes, calculées de la manière ordinaire d'après ces données, nous montre cependant que pour plusieurs récoltes il doit y avoir eu des anomalies dans le choix des échantillons, car autrement on ne peut pas s'expliquer comment, par exemple, la teneur en azote de cent plantes a été :

28 JUIN.	5 JUILLET.	12 JUILLET.	19 JUILLET.	26 JUILLET.	2 AOÛT.
17gr,38	31gr,21	23gr,24	35gr,01	51gr,58	53gr,78

Malgré les zigzags formés ainsi par les courbes de l'essai de Weiske, qui semblent rendre impossible leur utilisation pour la construction d'un tableau des moyennes, la ressemblance entre le tableau résultant de l'essai de Weiske et celui de Hornberger ne peut être méconnue, et cette ressemblance augmente la confiance que nous devons accorder à ces chiffres.

Ce que nous venons de dire des essais de Hornberger et de Weiske s'applique également :

3. Au premier essai de Märcker (*Landw. Jahrb.*, V, p. 751) dans lequel la quantité de substance sèche, de cendres et d'azote a été déterminée une fois par semaine ;

4. A l'essai dans lequel Fittbogen, Grönland et Hässelbarth (*Landw. Jahrb.*, V, 743) ont déterminé chaque semaine l'azote récolté ainsi que la substance sèche.

La direction des courbes en question nous laisse la même impression que l'essai de Hornberger ; cependant, le n° 3 nous fait supposer quelques anomalies dans les recherches du 20 juillet, du 24

et du 31 août, et peut-être encore du 10 août, tandis que le n° 4 nous fait croire que les récoltes du 3 août et en septembre n'ont pas été complètement normales. Cependant, dans les n°s 2, 3 et 4, nous voyons uniformément que, pendant la première période de végétation, la prédominance de l'absorption en azote sur la production de substance sèche excède d'un petit nombre de p. 100 celle indiquée dans le n° 1.

Outre ces quatre travaux, nous possédons encore les indications sur l'augmentation en substance sèche de dix-neuf autres essais qui ont été faits, en 1875-1878, par différentes stations agronomiques, sur l'ordre du ministère de l'agriculture et dont les résultats sont insérés dans les *Landw. Jahrb.* En voici l'indication :

König, Münster. . . .	*Landw.*	*Jahrbücher,*	V, p. 657.
Wildt, Posen.	—	—	V, p. 669.
Hoffmeister, Insterburg.	—	—	V, p. 709. 2 essais.
Kreusler, Poppelsdorf. .	—	—	V, p. 750-787. 7 séries d'essais.
Oswald, Halle	—	—	VI, p. 819.
Neubauer, Wiesbaden .	—	—	VI, p. 827.
König, Münster. . . .	—	—	VI, p. 839.
Oswald, Halle.	—	—	VII, p. 532.
Kreusler, Poppelsdorf .	—	—	VII, p. 536.
Wildt, Posen.	—	—	VIII, p. 651.
Oswald, Halle	—	—	VIII, p. 656.
Morgen, Halle	—	—	IX, p. 881.

Comme personne, dans le but d'obtenir un diagramme moyen de la croissance du maïs, n'a essayé jusqu'ici de mettre en œuvre les riches matériaux fournis par les déterminations de substance sèche, faites sur l'ordre du ministère de l'agriculture, j'ai tenté d'entreprendre ce travail. Si nous faisons abstraction du deuxième essai de Wildt, interrompu prématurément par suite du manque de matériaux, ainsi que des essais de Hoffmeister et de Weiske, terminés également avant la fin de la végétation, il nous en reste encore dix-neuf. Comme, dans ce nombre, il ne se trouve qu'un seul essai sur le maïs à dent de cheval, nous laisserons aussi ce dernier de côté.

J'ai groupé de différentes manières les dix-huit autres, et je crois avoir obtenu la meilleure vue d'ensemble en réunissant tout d'abord

les essais dans lesquels le maximum de la production de substance sèche a été atteint dans la première partie de septembre. En additionnant les résultats de ces derniers essais, qui sont au nombre de douze, on obtiendra le résultat moyen.

Malgré la diversité présentée par les différents essais, ce qui n'a rien d'étonnant pour une plante poussant dans notre climat d'une manière relativement défectueuse, les nombres jusqu'au milieu de septembre, peuvent être utilisés. Mais dans les semaines suivantes, en raison de la sensibilité du maïs aux températures basses, les résultats sont si divers qu'on peut seulement dire qu'à partir du moment où les grains sont à moitié mûrs la formation de substance organique est notablement moindre, et que, par suite du desséchement des feuilles, etc., il se produit en même temps des pertes de substance, de sorte que la masse totale de la substance organique subit une diminution de quelques centièmes.

Je m'abstiens de traduire en chiffres la perte résultant des indications dont nous disposons, car je ne pourrais le faire que d'une façon arbitraire.

De même on pourrait réunir facilement les deux essais à période courte avec les deux essais à période plus longue, mais je ne veux pas multiplier inutilement les chiffres dans ce travail. Si l'on représente graphiquement le résultat moyen de l'augmentation en substance sèche, on voit que, dans les deux premiers mois après les semailles, le développement de la plante marche très lentement; c'est seulement la température de juillet qui hâte la croissance, de sorte que dans les deux mois et demi qui suivent cette première période, la production de la substance organique progresse rapidement et uniformément. Cependant, à l'époque de la floraison, on reconnaît nettement une interruption dans la croissance et, à ce qu'il semble, aussi, dans l'absorption des aliments, de sorte que dans la vie du maïs nous pouvons distinguer quatre périodes :

1. — De la croissance lente, depuis les semailles jusqu'à fin juin.

2. — Première période de la croissance rapide, depuis le commencement de juillet jusqu'au commencement de la floraison (mi-août).

3. — Deuxième période de la croissance rapide, depuis la fin de la floraison jusqu'au commencement de la maturité des grains.

4. — Période de la diminution de la substance, commençant peu de temps avant la maturité complète.

Quelle marche suit donc le maïs dans l'absorption des principes nutritifs ?

D'après ce qui a été dit plus haut des essais relatifs à cette question, je n'ose pas les réunir pour la discussion, je crois procéder d'une manière plus exacte en m'en tenant, avant tout, au travail de Hornberger et en modifiant la conclusion tirée de ses résultats, seulement en tant que les autres essais permettent d'admettre la probabilité que la courbe de l'azote suit, pendant la deuxième période, une ligne plus ascendante.

Dans la première de nos quatre périodes nous voyons que l'absorption de principes nutritifs est aussi faible que la production de substance, et voilà probablement pourquoi l'expérience montre partout que le maïs est une plante sarclée typique, qu'il faut l'empêcher d'être étouffé par les mauvaises herbes, mais qu'on n'a pas besoin de recourir, comme pour la culture de l'orge, à l'emploi du nitrate de soude, cet engrais destiné avant tous les autres à satisfaire une exigence en azote plus forte dans la jeunesse de la plante.

Pendant la seconde période, au contraire, le besoin d'aliments est plus intense, et il diminue de nouveau dans la troisième. Considérons d'abord ce fait dans la marche suivie par l'absorption de l'azote.

Ainsi qu'il a été dit, il nous est impossible de réunir les essais, que nous avons à notre disposition, comme nous l'avons fait pour le froment, l'orge et l'avoine, mais avec leur aide nous pouvons calculer pour chaque période de végétation combien p. 100 d'azote contenait en moyenne la substance sèche récoltée. Nous arrivons ainsi à construire, pour nos nombres moyens de la production de substance sèche, une courbe de l'azote qui certainement sera plus conforme à la réalité que les données d'un seul essai. A mon avis, ce procédé n'a rien d'arbitraire, puisque les défauts reprochés plus haut aux nos 2, 3, 4 proviennent probablement moins d'erreurs d'analyse que de la dissémination inégale des tiges sur le champ, c'est-à-dire d'une détermination imparfaite de la quantité de la récolte. Si nous laissons de côté l'essai de Weiske sur le maïs à dent de cheval, nous obtenons les nombres inscrits dans le tableau suivant :

Quantité d'azote absorbée par le maïs.

SEMAINES DE LA VÉGÉTATION:		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Teneur centésimale en azote de la substance sèche	Hornberger	3.40	3.85	4.11	3.78	3.54	2.70	2.38	2.08	1.93	1.70	1.66	1.60	1.54
	Märcker	4.37	4.37	3.46	3.03	2.62	2.15	2.53	2.20	1.53	1.56	1.33	1.15	1.28
	Fittbogen	3.90	4.01	3.86	3.29	3.00	2.42	2.43	2.17	1.78	1.71	1.53	1.34	1.38
	Moyenne	3.89	4.08	3.81	3.37	3.05	2.42	2.45	2.15	1.75	1.66	1.51	1.35	1.40
Gr. de substance sèche par plante[1]		1.40	3.22	8.07	15.96	29.27	46.57	66.96	88.82	111.86	113.37	131.58	155.65	174.33
Gr. d'azote par plante		0.054	0.131	0.307	0.539	0.894	1.128	1.639	1.909	1.960	1.876	1.985	2.122	2.436
Nombres proportionnels	de l'absorption d'azote	2.2	5.4	12.6	22.1	36.7	46.3	67.3	78.4	80.5	77.0	81.5	87.1	100.0
	de la production de substance sèche	0.8	1.8	4.6	9.2	16.8	26.7	38.4	51.0	64.2	65.0	75.5	89.3	100.0

1. Résultats moyens des douze essais. (Voir plus haut.)

Un regard jeté sur les résultats de notre calcul, exprimés dans les deux dernières rangées de chiffres, nous apprend de suite que jusqu'à la 11e semaine, c'est-à-dire jusqu'à la fin de la deuxième période qui finit avec la 12e semaine, l'intensité relative de l'absorption d'azote est deux fois plus grande que celle de la production de la substance sèche. Dans la troisième période, la période de la floraison et du commencement de la maturité, l'absorption d'azote reste de beaucoup inférieure à la production de substance sèche. Pendant la deuxième période, l'absorption de potasse, de chaux et de magnésie suit une marche parallèle à celle de l'azote; mais elle ne diminue pas vers la fin de cette période, au contraire elle continue avec la même intensité jusqu'au milieu de la troisième période de végétation, c'est-à-dire jusqu'à la fin de la floraison, de sorte qu'à l'époque où la formation des grains commence à être la tâche principale de la plante, l'absorption de potasse, de chaux et de magnésie a déjà cessé. L'absorption d'acide phosphorique suit, au contraire, une marche parallèle à celle de la production de substance sèche, comme le prouvent les essais de Hornberger et de Weiske; quant à la conclusion relative aux autres éléments des cendres mentionnés, je me la crois permise parce que, d'une part, les courbes de l'essai de Hornberger, qui les concernent, concordent avec la courbe de l'azote et parce que, d'autre part, dans les essais de Weiske et de Märcker, cette dernière est parallèle à celle des cendres.

Nous voyons donc que le maïs exige, au même degré, de l'azote, de la potasse, de la chaux et de la magnésie, et nous savons en outre qu'une récolte de maïs enlève au sol plus d'acide phosphorique que celle d'aucune autre graminée. Mais le plus grand besoin d'aliments se manifeste seulement en plein été, au moment de la plus grande intensité des transformations dans le sol et de l'évaporation de l'eau par la plante, et il dure ensuite jusqu'à l'apparition des épillets, par conséquent deux mois. C'est là ce qui semble expliquer pourquoi l'expérience pratique nous a enseigné que le maïs a besoin, surtout en automne, d'être fumé aussi fortement que possible avec du fumier d'étable. En outre, de ce qu'un besoin d'aliments relativement intense se manifeste tardivement, et de ce que les sels ammo-

niacaux sont un meilleur aliment pour la jeune plante du maïs[1] que l'acide nitrique, il résulte que les engrais ammoniacaux, qui sont également recommandés pour la culture du maïs, sont employés ici avec plus de profit que le nitrate de soude. Cependant, d'après les lignes décrites par les courbes des principes nutritifs, il est clair que ce dernier, répandu et enfoui en juin comme engrais de tête, peut encore rendre de très bons services.

Un apport supplémentaire de phosphates semble, au contraire, devoir être seulement conseillé pour le maïs, quand le sol est très pauvre en acide phosphorique; dans ce cas, cet apport doit être considéré comme un engrais du sol, c'est-à-dire comme un engrais qui doit être donné sur le sol en question à toutes les plantes culturales, si on veut obtenir des récoltes normales.

Relativement aux représentations graphiques, je dois encore faire observer que je n'ai pas fait de courbes spéciales pour les parties aériennes et pour la plante totale, parce que les deux suivent la même direction.

Ce que nous avons dit jusqu'ici du maïs en général, se rapporte, à proprement parler, d'une façon spéciale au maïs à petits et à gros grains cultivé en Allemagne pour le grain. Mais les recherches de Weiske, relatives au maïs à dent de cheval (caragua), permettent de supposer que celui-ci ne suit pas une marche différente dans l'absorption des principes nutritifs, et qu'on peut aussi lui appliquer les conclusions tirées de cette marche en ce qui concerne les autres variétés. Dans le tableau ci-joint, je donne sous le n° 2, convertis en nombres proportionnels, les résultats auxquels Weiske est arrivé dans ses travaux (*Landw. Jahrb.*, VIII, p. 833) et, dans le tableau des courbes, j'en donne aussi la représentation graphique, avec l'espoir que l'on y trouvera une excitation à entreprendre de nouvelles recherches sur cette question.

TABLEAU.

1. D'après les essais de J. Lehmann (*Centralblatt für Agrikulturchemie*, 1875), l'ammoniaque, pendant les 6 premières semaines de la végétation, est pour le maïs un aliment d'azote préférable à celui de l'acide nitrique.

Teneur en substance sèche du maïs en grammes et pour une plante.

DATE APPROXIMATIVE.	SEMAILLES.																
	11 MAI.	14 JUIN.	21 JUIN.	28 JUIN.	5 JUILLET.	12 JUILLET.	19 JUILLET.	26 JUILLET.	2 AOUT.	9 AOUT.	16 AOUT.	23 AOUT.	30 AOUT.	6 SEPTEMB.	13 SEPTEMB.	20 SEPTEMB.	27 SEPTEMB.
1. Maïs de l'Oberland. Kreusler. *Jahrb.* VI.	107	955	1839	3097	6758	11418	24890	30180	51196	70978	59110	81687	73921	74120	87192	»	»
2. Maïs de Hongrie. *Ibid*	270	1110	2143	4123	12101	23214	41180	70460	101980	92850	121780	169530	212720	213290	202190	»	»
3. Maïs badois. *Ibid.*	206	1069	2449	4776	11077	23619	43811	55931	72875	76619	84332	89621	100380	130478	158139	»	»
4. Maïs badois. Oszwaldt. *Jahrb.* VI	367	187	620	2170	6150	12080	25180	39120	58630	65180	79430	91970	92590	96110	»	»	»
5. Grand maïs jaune. Neubauer. *Jahrb.* VI.	355	745	1260	3050	7510	17950	45610	70170	112490	168370	266120	180840	290750	322750	356800	330070	»
6. Maïs badois. König. *Jahrb.* VI.	260	370	780	3190	7870	18000	51690	97450	127200	179500	212300	220800	238600	590500	339400	293800	264200
7. Maïs hongrois. König. *Jahrb.* V.	417	380	1280	2010	7290	14110	21210	51120	73190	114620	162890	149920	159510	221590	312950	300140	»
8. Maïs. Wildt. *Jahrb.* V.	»	590	1790	6420	17970	31790	36200	42640	43410	58600	66100	77070	78600	142610	»	»	»
9. Maïs de Hongrie. Märcker. *Jahrb.* V	360	550	1220	3870	8690	16920	23400	43550	57290	86700	98010	»	116150	120220	101161	»	»
10. Maïs badois. Kreusler. *Jahrb.* VIII	328	255	308	637	2319	4651	9019	20000	34560	57590	70100	85170	111600	121800	122000	»	»
11. Maïs bâtard. Oszwaldt. *Jahrb.* VIII	135	204	638	1329	2737	5436	11170	17210	26160	42830	50010	48130	55100	61360	61510	»	»
12. Maïs badois. Morgen. *Jahrb.* IX	391	970	2510	3660	6420	9280	11500	17700	41500	51700	41806	52300	48700	70000	»	»	»
13. Nos 1-12. Somme	3196	7385	16837	38632	96892	191531	351193	558834	803181	1065837	1342282	1247038	1578951	1867858	1741342	»	»
14. Nos 1-3, 5-7, 9-11. Somme	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1559108	1744316	»	»
15. Moyenne des nos 1-12	291	615	1403	3219	8074	15961	29266	46569	66957	88820	111857	113367	131579	155655	193816	»	»
16. Moyenne corrigée d'après colonne 14	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	155655	174341	»	»
17. En p. 100 de la quantité maximum	0.2	0.4	0.8	1.8	4.6	9.2	16.8	26.7	38.4	51.0	61.2	65.0	75.5	89.3	100.0	»	»

Marche suivie par le maïs dans l'absorption des principes nutritifs en centièmes de la quantité maximum.

1. — ESSAI DE HORNBERGER.

	28 MAI.	4 JUIN.	11 JUIN.	18 JUIN.	25 JUIN.	2 JUILL.	9 JUILL.	16 JUILL.	23 JUILL.	30 JUILL.	6 AOUT.	13 AOUT.	20 AOUT.	27 AOUT.	3 SEPT.	10 SEPT.		
Substance organique sèche	0.3	»	»	0.1	0.4	1.7	3.3	6.6	15.2	26.7	44.8	55.0	67.9	89.3	100.0	98.8	»	»
Cendres pures	0.1	»	»	0.3	0.8	3.1	6.5	13.0	22.8	37.9	58.8	68.5	76.5	98.4	100.0	98.2	»	»
Azote	»	»	»	0.4	1.1	4.6	8.4	15.6	26.6	40.7	59.1	67.1	72.6	93.2	100.0	94.6	»	»
Potasse	»	»	»	»	0.8	3.4	7.1	14.6	27.2	43.4	61.3	75.0	79.2	100.0	100.0	97.1	»	»
Chaux	»	»	»	»	1.3	4.4	7.7	16.0	26.3	42.4	66.0	74.6	85.9	100.0	94.8	90.6	»	»
Magnésie	»	»	»	»	1.0	3.9	7.8	15.5	27.0	44.0	68.9	74.5	81.8	100.0	92.5	86.3	»	»
Acide phosphorique	»	»	»	»	0.8	2.4	4.4	9.3	17.0	27.3	45.8	55.4	60.0	87.0	98.0	100.0	»	»

2. — ESSAI DE WEISKE.

	24 MAI.	31 MAI.	7 JUIN.	14 JUIN.	21 JUIN.	28 JUIN.	5 JUILL.	12 JUILL.	19 JUILL.	26 JUILL.	2 AOUT.	9 AOUT.	16 AOUT.	23 AOUT.				
Substance sèche	0.05	0.1	0.3	0.8	2.0	5.1	15.8	18.1	29.3	32.0	56.5	61.0	82.7	100.0	»	»	»	»
Cendres	0.1	0.2	0.6	1.5	3.3	9.1	27.1	23.9	37.1	39.4	63.5	69.0	71.9	100.0	»	»	»	»
Azote	0.4	0.6	2.5	5.8	10.1	27.4	49.1	36.6	55.0	49.7	84.7	86.9	98.5	100.0	»	»	»	»
Acide phosphorique	»	0.2	0.7	1.2	2.8	5.9	24.9	21.0	30.8	40.3	53.4	80.4	87.1	100.0	»	»	»	»

3. — ESSAI DE MÄRCKER.

	19 MAI.	3 JUIN.	8 JUIN.	15 JUIN.	22 JUIN.	29 JUIN.	6 JUILL.	13 JUILL.	20 JUILL.	27 JUILL.	3 AOUT.	10 AOUT.	17 AOUT.	24 AOUT.	31 AOUT.	7 SEPT.	14 SEPT.	21 SEPT.
Substance sèche	0.30	0.07	0.28	0.45	1.0	3.2	7.2	14.0	19.5	36.0	47.5	72.0	81.5	»	97.0	100.0	84.0	»
Cendres	0.06	»	»	0.91	2.1	6.3	14.5	28.5	38.5	65.0	74.0	94.0	98.5	»	97.5	100.0	82.0	»
Azote	0.39	0.26	0.91	1.56	3.5	9.0	17.0	29.0	33.0	71.5	82.5	85.5	99.9	»	87.0	100.0	77.0	»

4. — ESSAI DE FITTBOGEN.

Substance sèche	»	»	»	0 1	0.9	1.7	5.7	13.5	24.0	32.0	57.5	68.0	76.0	82.0	100.0	87.5	79.0	90.0
Azote	»	»	»	0.3	3.0	4.8	13.8	29.0	42.5	56.0	90.5	87.0	94.5	91.0	100.0	87.0	66.0	90.5

GRAMINÉES PERSISTANTES

Après avoir parlé des céréales, il convient peut-être d'ajouter ici la remarque que nos connaissances relatives à l'absorption des principes nutritifs chez les graminées persistantes sont à peu près nulles. Un seul travail s'est proposé de nous renseigner sur cette question, je veux dire celui de Deetz[1], touchant le ray-grass anglais, *Lolium perenne*. Mais les plantes des expériences ne sont pas parvenues jusqu'à la floraison; elles étaient tellement serrées qu'elles pourrissaient à la base ; en outre, on a seulement analysé leurs organes aériens, quoiqu'il soit hors de doute que chez les plantes de cette espèce la formation des racines absorbe une grande partie des principes nutritifs, afin de permettre à la plante de produire dans la seconde année des pousses latérales, des chaumes et des graines. Le soin avec lequel les recherches de Deetz ont été exécutées nous engage à les recommander comme un excellent travail préliminaire à ceux qui se livreront plus tard à cette étude. Pour le moment, elles ne nous permettent pas encore de porter un jugement sur la marche de l'absorption des principes nutritifs.

Mais il semble en résulter que la plante accumule peu à peu, dans le cours de la première année, les matériaux qui lui seront nécessaires l'année suivante pour pousser vigoureusement. Ainsi du moins pourrait s'expliquer le fait que, dans les recherches de Deetz, la production de la substance et l'absorption de principes nutritifs suivent une marche parallèle, abstraction faite des résultats de la première analyse qui, en tout cas, a été fortement influencée par la composition de la graine elle-même. Dans ces circonstances, il semble inutile d'insérer ici les courbes calculées d'après l'essai de Deetz.

PLANTES OLÉAGINEUSES

1. — Lin.

Sur les conditions de la végétation du lin, nous ne possédons qu'un seul essai, celui de Bretschneider et de Küllenberg (*Mitthei-*

1. *Journal für Landwirtschaft*, 1873, p. 57.

lungen des Landw. Centralvereins für Schlesien, XIII, p. 106) qui ont récolté, à différentes époques, un certain nombre de plantes de lin, et les ont analysées; d'abord les tiges, les feuilles et les graines séparément ; ensuite tous les organes aériens ensemble.

Une comparaison des résultats des deux séries d'essais nous permet de conclure, avec une grande probabilité, à une erreur dans la détermination de l'azote dans les tiges et dans la détermination des cendres dans la plante entière de la dernière récolte; je ne me suis donc servi que des autres données des déterminations parallèles qui paraissent plus exactes.

Les autres analyses, qui concordent bien ensemble, nous fournissent des nombres moyens qui conduisent aux résultats suivants :

ÉTAT DE VÉGÉTATION.	DATE.	JOURS de végétation.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
LIN. — 1,000 plantes contiennent gr.										
I. — Hauteur, 6 à 10 pouces. Feuilles, 20 à 24. . .	6 juin	55	39.69	35.53	4.155	8.663	1.412	0.664	0.331	0.387
II. — Hauteur, 10 à 16 pouces 24 à 36 bourgeons . .	13 juin	7	55.26	50.98	4.282	6.161	1.550	0.614	0.297	0.430
III. — Hauteur, 16 à 24 pouces. 24 à 36 fleurs	22 juin	9	152.96	144.70	8.204	12.906	3.272	1.111	0.679	1.008
IV. — Hauteur, 24 à 29 pouces. 20 à 30 capsules vertes	2 juillet	10	215.30	206.07	9.233	13.541	3.619	1.36	0.770	1.222
V. — Feuilles inférieures tombées. Tiges jaunes à la base. Graines imparfaitement mûres[1]. . .	7 juillet	5	312.65	300.35	12.302	15.690	4.064	2.213	0.992	1.537
LIN. — 1,000 plantes contiennent gr. Nombres proportionnels.										
I. — Hauteur, 6 à 10 pouces. Feuilles, 20 à 24. . .	6 juin	»	12.7	11.8	33.8	55.2	35.5	29.6	33.4	25.2
II. — Hauteur, 10 à 16 pouces. 24 à 36 bourgeons . .	13 juin	»	17.7	17.0	34.8	39.3	38.2	27.4	30.0	28.1
III. — Hauteur, 16 à 24 pouces 24 à 36 fleurs	22 juin	»	49.0	48.2	66.7	82.2	80.5	49.6	68.4	65.6
IV. — Hauteur, 24 à 29 pouces. 20 à 30 capsules vertes	2 juillet	»	69.0	68.7	75.0	86.3	89.1	61.0	77.6	79.5
V. — Feuilles inférieures tombées. Tiges jaunes à la base. Graines imparfaitement mûres[1]. . .	7 juillet	»	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

1. D'après cela, la dernière récolte a eu lieu à l'époque où l'on a l'habitude d'arracher le lin, quand on veut récolter et utiliser la graine aussi bien que les fibres libériennes.

En premier lieu, ces nombres montrent une grave invraisemblance, qui frappe surtout les yeux dans la représentation graphique des résultats. On voit alors qu'on a été nécessairement malheureux ou bien dans le premier, ou bien dans le deuxième choix des échantillons, car, par 1000 plantes, on a obtenu, en substance sèche des feuilles et, plus tard, des feuilles et des fruits les quantités que voici :

I.	II.	III.	IV.	V.
21gr,32	18gr,27	28gr,45	42gr,21	83gr,20

Or, comme les feuilles sont bien plus riches en principes nutritifs que les tiges, il en résulte que les plantes, plus riches en feuilles, de la première période, contiennent plus de principes nutritifs que celles récoltées une semaine plus tard. Mais comme d'après ces analyses l'azote contenu dans les feuilles de 1000 plantes était de :

I.	II.	III.	IV.	V.
6gr,234	3gr,486	4gr,947	6gr,689	11gr,671

il est infiniment probable que les échantillons I avaient poussé d'une façon anormale.

Dans ces conditions, nous ferons mieux de laisser de côté les échantillons I, et de nous en tenir à la marche de l'absorption et de la production de substance, telle qu'elle ressort des échantillons suivants. Sans doute, ce procédé conduit seulement à des probabilités, et il est à souhaiter que ces recherches soient recommencées pour qu'il soit possible de nous former une opinion plus sûre. Le résultat, auquel nous arrivons de cette manière, est le suivant : Le lin s'est développé, dans les essais qui nous occupent, absolument de la façon qu'on peut observer dans tous les champs de lin, à savoir, lentement dans les deux premiers mois après les semailles, pour arriver ensuite à un développement complet dans l'espace de quelques semaines. Jusqu'à l'époque de la floraison, l'absorption de principes nutritifs est considérablement supérieure à la production de substance organique. Cela ressort clairement des nombres proportionnels, même si l'on néglige entièrement, comme nous l'avons fait dans les graphiques, les résultats de la première récolte,

car si nous comparons ces nombres pour voir quel rapport existe entre la formation de la substance organique et l'absorption des principes nutritifs, nous obtenons les résultats suivants :

	12 AVRIL-13 JUIN.	13-22 JUIN.	22 JUIN-2 JUILLET.	2-7 JUILLET.
	—	—	—	—
Substance organique . .	100	100	100	100
Principes minéraux. . .	205	102	40	80
Azote	231	138	20	44
Potasse	225	136	42	35
Chaux.	161	71	56	125
Magnésie.	177	123	45	72
Acide phosphorique. . .	165	120	68	66

Ce tableau montre que, jusqu'à l'époque de la floraison (22 juin), l'absorption relative des principes nutritifs prédomine considérablement, et qu'avant la formation des bourgeons elle est encore très accentuée. L'azote et la potasse occupent la première place, la magnésie et l'acide phosphorique la seconde, et la chaux la troisième. Nous appellerons ici l'attention sur ce point que la prédominance de l'absorption des principes nutritifs dure longtemps, à savoir jusqu'au moment où la plante a obtenu de 65-82 p. 100 des aliments qui lui sont nécessaires, et nous rappellerons également le fait qu'il existe peu de plantes culturales où le système radiculaire soit aussi peu développé qu'il l'est chez le lin.

Comme le lin enlève au sol à peine autant de principes nutritifs qu'une récolte de blé, les théoriciens modernes se sont habitués à soutenir l'opinion exprimée par Krafft en ces termes (*Pflanzenbaulehre*, 3e éd., 1881, p. 131) : « Ses exigences, en fait de principes nutritifs du sol, sont, contrairement à l'opinion générale, peu considérables », tandis que ceux qui se sont autrefois occupés de la statique des végétaux comptaient le lin parmi les plantes exigeantes. Ainsi nous lisons dans les *Principes de l'agriculture rationnelle* de Thaër, à propos de la préparation qu'il faut faire subir au champ destiné à la culture du lin, qu'il est bon de fumer le champ avec du fumier de mouton, ou d'y répandre en hiver du fumier d'étable et, après que celui-ci a été lessivé par les eaux météoriques, de l'enlever au printemps avec le râteau. De même, Thaër recommande d'employer du purin, du fumier de volaille et de la lessive de savonnier, de le planter dans des champs de trèfle binés pendant plu-

sieurs années ou après des plantes sarclées fortement fumées, tandis qu'il déconseille le fumier d'étable fraîchement enfoncé par la charrue, qui se décompose seulement avec lenteur. Aussi nous trouvons souvent le conseil d'arroser avec du purin et, d'après les essais de fumure de Schischken et de Fleischmann, d'employer les sels de potasse.

On aime à faire succéder au lin des légumineuses (pois) ou du trèfle, tandis que Thaër recommande expressément de ne pas planter du blé d'hiver dans un champ où il y avait du lin, parce qu'il faut compter sur une notable reproduction de ce dernier. Que faut-il conclure de tout cela? Évidemment que le lin, pour croître normalement, a besoin d'aliments excessivement solubles, bien répartis dans le sol végétal, et qu'il faut lui offrir notamment de la potasse et de l'azote en grande quantité. Si, malgré ses faibles exigences en principes nutritifs, il réclame cependant si fortement de l'engrais, et s'il rend le champ impropre à porter dans la suite des plantes qui, comme le froment d'hiver, éprouvent un grand besoin d'aliments dans la jeunesse, qu'est-ce que cela signifie, si ce n'est qu'il vit seulement des substances les plus facilement solubles et qu'il enlève toutes celles qui existent dans le sol[1]? Tout cela s'explique évidemment par la marche suivie dans l'absorption des principes nutritifs telle que nous avons appris à la connaître, et par le faible enracinement. Le besoin prédominant d'azote et de potasse ressort clairement de la ligne suivie par les courbes sur notre tableau, bien que nous n'ayons pas tenu compte de la première récolte, qui aurait démontré ce besoin encore plus fortement, comme on peut le reconnaître dans un tableau subséquent. A propos des courbes, nous remarquerons encore que, faute d'une date pour la levée de la graine, nous avons admis que celle-ci lève 15 jours après les semailles.

2. — Colza d'hiver.

Sur la végétation du colza, nous possédons les travaux suivants :

1. — Une série de recherches d'E. Wolff (*Mittheilungen aus Ho-*

1. Je tiens à mentionner expressément qu'à mon avis le fait constaté de l'impossibilité de faire succéder le lin au lin, qui a conduit à la règle de le cultiver seulement tous les neuf ans dans le même champ, n'a rien à faire avec ce que nous disons ici

henheim, V, p. 214). Le colza en question a un peu souffert, pendant l'automne de 1856, de la sécheresse et de la dévastation par chenilles, mais « pendant le reste de cette année toute la plante a crû d'une façon absolument normale ». Les récoltes ont été enlevées du champ le 27 avril, quand les plantes commençaient à fleurir; le 9 mai, quand elles étaient en pleine floraison; le 23 mai, quand les fleurs étaient presque fanées et que les feuilles tombaient en grande quantité; le 15 juin, quand les siliques étaient presque développées; le 6 juillet, quand les graines étaient passablement mûres, alors que la plante avait encore de la sève et n'était pas complètement morte.

2. — Les recherches sur le maïs d'Is. Pierre (*Annales de chimie et physique,* LV, p. 129). Les cinq récoltes examinées correspondent à peu près aux cinq périodes de développement choisies par Wolff; quelques-unes des analyses entrent dans plus de détail que celles de Wolff, car, tandis que ce dernier n'a étudié que les organes aériens dans leur totalité, J. Pierre a examiné séparément les racines, les tiges sans feuilles et sans pointes; les pointes des branches et des fleurs, ou mieux les siliques; les feuilles vertes, les feuilles sèches; cependant les alcalis et la magnésie n'ont pas été déterminés séparément. Pour le choix des échantillons, on a marqué 40 plantes sur une surface également couverte, lesquelles ont fourni les matériaux pour les cinq récoltes. Ce petit nombre des plantes est évidemment regrettable, mais dans le cas actuel il ne semble pas avoir été très sensible, parce que le colza était planté et non semé, d'où l'on peut conclure que chaque plante avait à sa disposition à peu près le même espace de sol.

Dans le compte rendu du travail d'Is. Pierre, et probablement aussi dans l'original, il y a malheureusement quelques fautes d'impression, car si l'on compare les indications sur la teneur de la partie aérienne du colza dans le compte rendu annuel de *Chimie agr.,* XI, p. 265, avec les résultats auxquels nous arrivons d'après le compte rendu mentionné plus haut, on rencontre quelques écarts dans les endroits marqués dans notre tableau par le chiffre 1. Mais si, en s'appuyant sur les données centésimales de Pierre, on calcule séparément la teneur des différentes parties de la plante, et si l'on ajoute les résultats, on obtient aussi, d'après le premier compte

rendu, les mêmes valeurs qu'en réunissant les secondes données de Pierre sur la teneur de la substance aérienne avec la teneur de la racine d'après le premier compte rendu.

Par exemple, le premier compte rendu indique pour le 22 mars :

A. Poids total en substance fraîche par hectare 3 070 kilogr., avec une teneur en azote de 0.2911 p. 100.

B. Poids total en substance sèche par hectare = 3 712 kilogr., avec une teneur en azote de 2.667 p. 100.

D'après la première donnée, la quantité d'azote par hectare est de 87^{kg},850. D'après la seconde donnée, la quantité d'azote par hectare est de 98^{kg},999.

La question est de savoir laquelle des deux est fausse !

D'après les données séparées, la teneur en azote des différentes parties sèches de la plante est, par hectare :

C.	Dans les racines	10^{kg},282
	Dans les tiges	18 ,396
	Dans les feuilles fraîches	12 ,170
	Dans les feuilles sèches	47 ,289
		88^{kg},137

D. Dans le compte rendu de la *Chim. agr.*, XI, reproduisant les données originales du compte rendu de l'Académie (vol. LXVIII, p. 1526), la teneur en azote des parties aériennes est estimée à 77^{kg},60 ; si on y ajoute la teneur des racines, 10^{kg},28, on obtient 87^{kg},88.

Il résulte de là que la donnée 98^{kg},999 doit provenir d'une erreur; c'est pourquoi j'ai pris comme base de mes calculs le nombre 88.137. De même toutes les données du compte rendu, dont j'ai été obligé de me servir à défaut du travail original, ont été calculées par moi de 4 ou 5 manières, et j'ai seulement utilisé les chiffres concordants. Heureusement, le calcul quintuple n'a été nécessaire qu'une seule fois, puisque le calcul fait d'après ce mode pour l'acide phosphorique le 22 mars a donné :

A	48^{kg},2	C	38^{kg},5
B	48 ,59	D	38 ,47

On a donc refait les calculs en portant les données pour la substance fraîche des différentes parties de la plante, de la méthode C, et l'on a obtenu 38kg,4. C'est ce chiffre qu'on a adopté.

L'augmentation en centièmes des quantités maxima, présentée dans le tableau ci-joint, indique les résultats des deux essais.

3. — Un travail de Heiden (*Bericht der Versuchsstation Pommritz*, 1868-1869, p. 75) ne peut pas servir pour notre but, parce qu'on a fait seulement deux récoltes à l'époque de la floraison et de la maturité, et qu'on n'a analysé que les racines de la première, sans s'occuper des parties aériennes. Si l'on compare les résultats, exprimés en chiffres, des deux essais de Wolff et de Is. Pierre, ou encore mieux les graphiques de l'un et l'autre, on trouve entre eux une concordance frappante, malgré la différence de l'époque et du climat.

Les deux essais montrent, dans la jeunesse de la plante, une absorption extraordinairement forte d'azote et de potasse en regard de la production de la substance organique. A l'époque de la floraison et pendant la maturité, ils montrent aussi, l'un et l'autre, une absorption d'acide phosphorique dépassant la production de substance organique et, dans l'un et l'autre, la courbe de l'absorption de chaux s'écarte le moins de la courbe de la production de substance organique.

Is. Pierre, à la vérité, n'a pas séparé les alcalis de la magnésie, mais, en présence de la richesse en potasse des cendres du colza, la direction de cette courbe est tellement influencée par la direction de la courbe de la potasse, qu'il me semble permis d'employer la courbe de la magnésie et des alcalis à la place de la courbe absente de la potasse, sans s'exposer pour cela à commettre une erreur notable. C'est ce que j'ai fait dans le tableau pour le calcul des nombres moyens ; cependant j'ai mis entre parenthèses les nombres ainsi obtenus pour indiquer leur origine défectueuse.

Pour caractériser encore plus exactement par des chiffres le rapport existant entre la production de substance organique et l'absorption de principes nutritifs, on a établi le tableau suivant d'après des nombres moyens.

La production de la substance organique est à l'absorption de principes nutritifs comme 100 est à :

PÉRIODES de végétation.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	ACIDE phosphorique.
1. Jusqu'au commencement de la floraison	100	139	229	(213)	117	127
2. Depuis 1 jusqu'à la floraison complète.	100	35	*minus.*	(*minus*).	34	63
3. Depuis 1 jusqu'à la fin de la floraison	100	80	37	(50)	86	57
4. Première moitié de l'époque de la maturité	100	97	31	(*minus*).	142	221
5. Seconde moitié de l'époque de la maturité	100	*minus.*	*minus.*	(*minus*).	(*minus*).	950

Quel est le rapport entre l'absorption des parties aériennes du colza et celle de la plante totale? Nous devons nous poser cette question, avant d'essayer de tirer des conclusions quelconques des résultats obtenus. Une comparaison des nombres proportionnels, fournis par l'essai de Pierre, nous apprend de suite qu'il peut exister seulement une différence notable dans l'absorption avant le commencement de la floraison. Si, pour constater cette différence, nous calculons le rapport entre la production de substance organique (100) et l'absorption de principes nutritifs, nous obtenons les nombres suivants :

PARTIES de la plante analysée.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	ALCALIS.	CHAUX.	ACIDE phosphorique.
Parties aériennes de la plante. . .	100	117	186	156	107	120
Plante entière	100	110	173	146	100	119

D'après cela, il semblerait que l'analyse des parties aériennes du colza donnât, en comparaison de ce que nous avons vu ailleurs pour les céréales, des chiffres un peu trop élevés sur le rapport entre l'absorption et la production de la substance. Ces différences ne sont pas cependant de nature à changer d'une manière essentielle

le sens des courbes. Nous nous trouvons donc en présence du fait (qui a déjà trouvé son expression dans le tableau précédent et particulièrement dans les nombres imprimés en caractères gras), à savoir que, d'après les analyses publiées jusqu'ici, nous possédons dans le colza d'hiver une plante qui, dans sa jeunesse, réclame énergiquement tous les principes nutritifs importants : azote, potasse, acide phosphorique, chaux, magnésie, une plus grande quantité du premier que de la seconde, et ainsi de suite en descendant, dans les mêmes proportions que nous avons déjà appris à connaître chez les céréales. En outre, il résulte de nos recherches, avec une clarté que nous n'avons constatée nulle part ailleurs, qu'à l'époque de la formation des graines le colza exige impérieusement de la chaux et surtout de l'acide phosphorique.

Quant à l'engrais à donner au colza, nous savons que, pour croître normalement, cette plante a besoin, plus que la plupart des autres, d'être fortement fumée avec du fumier d'étable. On emploie de préférence le fumier de mouton en décomposition, qui est si riche en azote, et là où il est d'usage de parquer les moutons on fait paître ces animaux sur le champ en friche et fortement fumé où l'on désire cultiver du colza. Il est possible et probable que l'enracinement si faible du colza par rapport à la quantité de matière absorbée, explique en partie ses fortes exigences en engrais. Personne cependant ne pourra douter qu'elles ne soient aussi motivées par la marche de l'absorption des principes nutritifs. En effet, quelle station est plus propre qu'un champ fumé avec du fumier de ferme à permettre à la plante d'absorber dans la jeunesse des quantités relativement très considérables de tous les principes nutritifs, notamment d'azote, de potasse et d'acide phosphorique, ainsi qu'à satisfaire quelques mois plus tard, à l'époque de la maturité, quand les feuilles commencent à tomber et que l'absorption d'eau diminue, un nouveau besoin d'acide phosphorique, relativement considérable? Nous pouvons donc dire que pour le colza aussi la marche suivie selon la saison par l'absorption des principes nutritifs concorde parfaitement avec ce que l'expérience pratique nous révèle sur les besoins de cette plante en fait d'engrais, et que cette marche peut servir à nous expliquer ces besoins.

Colza d'hiver.

PÉRIODE DE VÉGÉTATION.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		jours								
a. — Essai de Wolff.										
Commencement de la floraison	27 avril	?	33.3	32.1	49.9	83.2	70.2	40.2	40.4	43.0
Pleine floraison	9 mai	12	48.4	48.2	50.8	78.0	66.4	49.0	41.5	48.5
Fin de la floraison	23 mai	14	42.4	41.1	59.6	68.7	78.2	49.8	57.5	41.4
Siliques non mûres.	15 juin	23	93.6	94.4	80.4	89.5	82.3	75.8	100.0	64.0
Graines presque mûres. . . .	6 juillet	21	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	91.5	100.0
b. — Essai d'Is. Pierre. — Parties aériennes de la plante.										
							Alcalis et magnésie.			
Avant la floraison	22 mars	?	36.0	34.4	40.1	64.0	53.6	36.8	»	41.1
Floraison	2 avril	11	42.2	40.4	46.6	67.7	58.6	43.9	»	49.3
Défloraison	6 mai	34	89.2	85.2	100.0	100.0	100.0	100.0	»	97.3
Demi-maturité.	6 juin	31	100.0	97.2	97.5	95.6	82.0	98.0	»	84.9
Maturité.	20 juin	44	99.5	68.4	68.4	91.4	80.6	80.6	»	100.0
c. — Essai d'Is. Pierre. — Plante entière.										
Avant la floraison	22 mars	?	40.3	38.8	42.9	67.0[1]	58.6	38.6	»	46.0[1]
Floraison	2 avril	11	46.6	45.0	48.0	70.9	62.5[1]	45.0	»	54.0
Défloraison	6 mai	34	91.9	88.2	100.0[1]	100.0	100.0	100.0	»	99.7
Demi-maturité.	6 juin	31	100.0	98.5	95.2[1]	94.1	82.9[1]	97.5	»	86.1[1]
Maturité.	20 juin	44	99.9	100.0	71.2	89.1	81.7	70.8	»	100.0[1]
d. — Moyenne de A et B.										
Commencement de la floraison.	27 avril	?	34.6	33.2	45.0	(73.6)	(64.4)	38.5	»	42.0
Pleine floraison	8 mai	11	45.3	44.3	48.7	(72.8)	(62.5)	41.9	»	48.5
A 4 et B 3. Fin de la floraison.	13 juin	36	92.7	91.3	90.2	(94.7)	(91.1)	87.9	»	75.0
A 5 et B 4. Commencement de la maturité	10 juill.	27	100.0	99.2	97.6	(97.0)	(91.0)	99.0	»	92.4
Pleine maturité	»	»	égale	100.0	*minus*	*minus*	*minus*	*minus*	»	100.0
e. — Résultats de D en p. 100 des quantités maxima.										
	»	»	34.6	33.2	46.1	75.9	(70.7)	38.9	»	42.0
	»	»	45.3	44.3	49.9	75.0	(68.6)	42.3	»	48.9
	»	»	92.7	91.3	92.4	97.6	(00.0)	88.8	»	75.0
	»	»	100.0	99.2	100.0	100.0	(99.9)	100.0	»	92.4
	»	»	100.0	100.0	*minus*	*minus*	*minus*	*minus*	»	100.0

1. Cf. p. 423.

3. — Moutarde blanche.

Je ne connais que deux travaux sur la végétation de la moutarde blanche, et l'un d'eux seulement par un compte rendu. Ce sont :

Le travail de Dehérain et Bréal (*Annales agron.*, t. VII, p. 161) et celui de Hornberger (*Vers. Stat.*, 31, p. 415). En fait de recherches qui aient pour nous quelque importance, ces deux travaux ne contiennent que les déterminations de la substance sèche, des cendres et de l'azote. Si l'on calcule leurs résultats en centièmes des quantités maxima et si on en fait le graphique, on obtient, dans leurs traits essentiels, pour l'essai de Hornberger un graphique semblable à celui que donne le colza.

Cette observation s'applique également au rapport entre les courbes des cendres et de la substance sèche de l'essai de Dehérain, tandis que la courbe d'azote de cet essai s'en écarte d'une façon si considérable que je ne puis pas m'empêcher d'avoir des doutes sur l'exactitude de la détermination d'azote du 31 juillet. On a trouvé par tige de plante les quantités d'azote suivantes :

6 juin	$0^{gr},067$
16 —	0 ,294
24 —	0 ,33
12 juillet	0 ,37
31 —	0 ,81
11 août	0 ,36

Si la diminution du 31 juillet au 11 août doit être attribuée à la chute des graines, alors je ne vois pas pourquoi l'auteur s'est donné la peine de faire la dernière analyse ; si tel n'est pas le cas, on est tenté de conjecturer quelque erreur commise, soit dans le choix des échantillons, soit dans l'analyse du 31 juillet, qui a eu pour conséquence ce résultat anormal. Dans ces conditions, je n'ai pas cru devoir tirer des conclusions des recherches sur la moutarde blanche, et je me contente de présenter leurs résultats dans un tableau, espérant exciter ainsi quelqu'un à entreprendre un nouveau travail sur la moutarde.

TABLEAU.

Moutarde blanche.

	DATE.	JOURS de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.
Essai de Dehérain et Bréal.						
Commencement de la floraison	29 mai	»	2.4	2.1	4.4	»
Pleine floraison	6 juin	8	6.5	5.8	12.4	8.3
Pleine floraison	16 juin	10	31.7	27.3	48.4	36.3
Pleine floraison	24 juin	8	42.2	40.4	56.6	40.8
Formation des siliques	12 juill.	18	50.4	48.9	62.5	45.7
Commencement de la maturité	31 juill.	19	100.0	100.0	100.0	100.0
Maturité (chute des graines)	11 août	11	95.0	97.5	74.6	44.5

DATE.	DURÉE de la période.	PARTIES AÉRIENNES DE LA PLANTE				PLANTE ENTIÈRE			
		SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.
Essai de Hornberger. A.									
19 mai	»	0.5	»	»	»	0.5	»	»	»
26 mai	7	2.0	»	»	»	2.0	»	»	»
2 juin	7	6.4	5.8	14.4	22.7	6.5	»	»	»
9 juin	7	20.5	18.8	42.1	53.5	21.2	»	»	»
16 juin	7	33.0	30.9	59.8	84.0	34.3	32.3	60.8	85.2
23 juin	7	50.7	49.1	70.9	90.3	51.9	50.4	71.5	91.2
30 juin	7	57.5	55.9	76.0	81.2	59.1	57.7	76.5	81.8
7 juillet	7	71.9	71.1	80.3	82.3	73.8	73.3	81.1	82.9
14 juillet	7	77.1	76.7	79.9	72.5	78.0	78.0	80.0	73.0
21 juillet	7	99.5	99.1	100.0	92.0	99.8	99.8	100.0	92.4
28 juillet	7	99.0	98.9	99.1	94.8	99.4	99.4	98.4	94.7
4 août	7	100.0	100.0	97.0	100.0	100.0	100.0	96.4	100.0
11 août	7	86.0	86.2	80.9	91.0	86.0	86.0	80.6	90.7
18 août	7	83.3	88.3	83.5	96.0	88.3	88.3	82.6	95.6

(La suite au prochain fascicule.)

LES
TUBERCULES RADICAUX DES LÉGUMINEUSES

Par Paul VUILLEMIN

CHEF DES TRAVAUX D'HISTOIRE NATURELLE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

C'est un fait bien connu des agriculteurs que les Légumineuses n'ont pas, à l'égard de la nature chimique du sol et notamment de sa richesse en principes azotés, les mêmes exigences que la plupart des plantes cultivées. On sait, en effet, que plusieurs d'entre elles prennent un vigoureux développement dans des terres trop pauvres en nitrates pour nourrir des céréales. On a été conduit à supposer que les espèces de cette famille ont la propriété de fixer, soit l'azote libre de l'air, soit des composés azotés qui ne sauraient servir d'aliment à la plupart des plantes.

Une fonction aussi insolite ne paraissant pas devoir s'exercer par les organes vulgaires de végétation, l'attention des observateurs s'est portée sur les petits tubercules qui se montrent généralement sur les racines des Légumineuses, et l'on s'est demandé si ces organes, qui paraissent sans analogie dans le règne végétal, ne sont pas en rapport avec ces conditions exceptionnelles de nutrition. Il nous a paru utile de grouper les résultats des nombreuses observations publiées au sujet de ces tubercules et d'examiner si leur constitution intime et les circonstances dans lesquelles ils apparaissent et se multiplient sont conciliables avec les hypothèses émises au sujet de leur rôle.

Caractères extérieurs.

Forme. — Les tubercules radicaux sont des excroissances charnues assez variables d'aspect. Pourtant, comme l'a déjà remarqué Eriksson ([23]), leur forme, qui peut différer beaucoup dans des espèces voisines, est assez constante chez les représentants d'une même espèce. Les principaux types ont été bien décrits par cet auteur et par un grand nombre d'autres, particulièrement par Tschirch ([67]). Tantôt les tubercules sont simples et sphériques (*Lotus, Anthyllis, Phaseolus, Ornithopus*), ovoïdes (*Trifolium, Hedysarum*), elliptiques (plusieurs *Lathyrus*), ovoïdes allongés (*Sophora*), coniques (*Caragana*), digités à des degrés divers. Eriksson cite plus de trente espèces où la ramification est rare et toujours peu compliquée, tandis qu'ailleurs elle est copieuse et frappe à peu près tous les renflements. La plupart des *Vicia* sont dans ce dernier cas ; le *Vicia hirsuta* se distingue par la richesse des dichotomies de son extrémité et il n'est pas rare d'en trouver des plants très grêles dont la racine porte sur son chevelu capillaire des corps charnus, bifurqués maintes fois et entortillés de manière à former une boule caverneuse, grosse comme le bout du doigt. Les formations tuberculeuses du *Medicago sativa* se compliquent aussi au point de devenir coralloïdes.

Il ne faut pas oublier toutefois que ces ramifications sont assez tardives. Tschirch ([65]) paraît même disposé à admettre, du moins pour le *Vicia sepium*, que les digitations n'apparaîtraient que par une nouvelle végétation du méristème, après que le tubercule primitif, simple, se serait vidé à la fin d'une première période végétative. Dans bien des espèces le sommet se bifurque de bonne heure, alors que la base peu développée est encore gorgée de matériaux nutritifs. Eriksson parle même de tubercules divisés avant d'avoir fait éruption hors des tissus de la racine mère ; mais il s'agit certainement de radicelles concrescentes.

Les tubercules du lupin forment un type aberrant ; Tschirch ([67]) a beaucoup insisté sur ce point. Ce sont des tuméfactions développées surtout au collet, irrégulières, unilatérales au début, formant plus tard un revêtement complet autour du corps radical. Poiteau ([52] pl. xv,

fig. A) a figuré il y a longtemps sur l'*Arachis hypogea* des excroissances fortement élargies à la base et embrassant une partie de la racine mère, sans prendre toutefois la forme semi-annulaire qui est propre aux lupins. Tschirch déclare que c'est la seule espèce où il ait trouvé une apparence approchant de celle des lupins.

Cornu (17) mentionne les propriétés morphologiques qui permettent de distinguer à première vue les organes chargés de tubercules des Papilionacées des racines de vigne attaquées par le *Phylloxera*. Il remarque à ce sujet que les tubercules radicaux ne présentent jamais les courbures en crochet si caractéristiques des tumeurs provoquées par l'insecte. Pourtant F. Schindler (56) a rencontré sur les racines d'ordre élevé, dans les cultures effectuées dans l'eau bouillie ou dans la terre calcinée, des excroissances spéciales, n'ayant d'ailleurs rien de commun avec les tubercules, qui déterminaient à leur niveau des incurvations, voire même un entortillement des racines. Des exemplaires de terre libre de *Trifolium pratense, Phaseolus vulgaris* et *Ornithopus sativus* lui ont offert des déformations analogues. Cornu ajoute que les renflements des Légumineuses sont toujours « sessiles, c'est-à-dire qu'ils reposent directement par leur base élargie sur la racine qui leur donne naissance ». Cette distinction est un peu absolue; les tubercules ovoïdes sont souvent rétrécis d'une façon notable; mais les types digités des *Vicia,* par exemple, ont souvent leur base atténuée en une région filamenteuse mesurant plusieurs millimètres. Tschirch (67) a vu aussi chez le *Robinia* des radicelles atteignant plusieurs centimètres de long et pourvues d'un pédicelle aboutissant à une masse principale aplatie, souvent lobée.

D'autre part, des radicelles ordinaires, dans beaucoup de Légumineuses (*Galega officinalis, Lupinus polyphyllus,* etc.), très étroites à la base, présentent une dilatation progressive qui n'en fait pas des tubercules proprement dits, mais qui pourtant doit leur faire trouver place à côté des organes renflés, d'autant plus que la structure présente certains points de contact avec celle de ces derniers. Elles y sont surtout reliées par le type spécial indiqué plus haut d'après Schindler et dans lequel l'hypertrophie porte exclusivement sur l'écorce volumineuse qui entoure le mince cordon conducteur. Van Tieghem et Douliot (22) ont également signalé des racines tubéreuses

dans lesquelles le siège de la dilatation est le parenchyme extérieur.

Les racines des Légumineuses présentent aussi des dilatations d'une autre nature que l'on ne confondra pas avec les tubercules normaux. Cornu ([16] et [17]) rencontra, en janvier 1874, dans une prairie sablonneuse au bord de la Loire, à Châteauneuf (Loiret), des racines de sainfoin qui, à côté des tubercules normaux, présentaient des nodosités non plus latérales, mais intercalaires, irrégulièrement bosselées, produites par une espèce d'anguillule qui paraît nouvelle et qu'il nomma *Anguillula Marioni*. Il a donné de ces galles et de leurs habitants une description complète et d'excellents dessins coloriés dans son grand Mémoire sur le *Phylloxera* ([17], pl. x).

Couleur. — La coloration des tubercules est la même que celle des racines. Blanchâtre au début, elle prend, par suite d'une subérisation plus ou moins étendue, une teinte brune analogue à celle des feuilles mortes. Le liège est peu développé au sommet, tandis qu'il entoure les deux tiers inférieurs du renflement d'une gaîne puissante. Cette dernière résiste aux agents destructeurs et forme une sorte de cupule brunâtre, qui persiste comme dernier vestige des tubercules épuisés et mortifiés sur les racines des espèces vivaces. La subérisation se localise parfois à des bandes longitudinales séparées par des bandes incolores (*Dorycnium herbaceum*). Cornu ([17]) a remarqué à la base une coloration grise, tirant sur le violet, le brun ou le vert, bien que le sommet restât pâle, ou rosé, ou teinté de jaune peu intense. Nous avons observé des *Vicia hirsuta* dont les tubercules jeunes avaient une teinte rouge-brique très accusée. L'extrémité libre est fréquemment translucide ; elle se distingue surtout par son aspect farineux qui d'ailleurs se retrouve au début dans toute la périphérie. Cette apparence furfuracée est due à ce que l'écorce de la racine mère s'accroît avec le tubercule et l'entoure d'une poche complète et persistante. Les tissus de la poche distendus par le jeune tubercule se cloisonnent parallèlement à la surface irritante constituée par ce dernier et les cellules les plus extérieures se mortifient. Elles ressemblent à cette couche pulvérulente qui s'observe souvent sur une tige, au point d'où se sont détachés récemment des rameaux ou des feuilles caduques.

Répartition.

Influence de la nature spécifique. — La présence des tubercules est assez constante chez les Papilionacées pour que certains phytographes l'aient mentionnée comme caractère de famille. Ainsi Decaisne et Lemaoust [20] font suivre la diagnose des Papilionacées de cette remarque : « Radicelles souvent couvertes de petites excroissances tubériformes. » Wydler [81], O. Lohrer [49], indiquent également ces renflements comme caractéristiques de la famille.

Tréviranus [64] et après lui de Vries [70] les nient dans les genres *Astragalus*, *Scorpiurus*, *Genista*. Pourtant Cornu [17] les a signalés chez le *Genista hispanica* et Frank [24] chez le *Genista germanica*. Nous les avons vus sur d'autres genêts, tels que le *Genista tinctoria*, sur le *Sarothamnus scoparius*, où Tschirch [67] les mentionne également. Nous en avons aussi trouvé chez des *Astragalus*. Eriksson [23] déclare que l'*Arachis hypogea* est la seule espèce qui lui ait paru en être dépourvue ; il n'en avait au reste examiné qu'un seul exemplaire. Mais Poiteau [52] les avait déjà figurés sur cette même plante. Frank [24] assure ne les avoir jamais cherchés en vain dans de nombreux genres de Papilionacées. Les échantillons d'herbier lui ont montré, ainsi qu'à Brunchorst [9], que les espèces exotiques n'en sont pas plus exemptes et il ne croit pas que le climat, l'altitude ou la nature géognostique du terrain aient la moindre influence sur leur production. Tréviranus [64] avait déjà observé que les tubercules existent chez les espèces annuelles comme chez les espèces vivaces. Cornu [17], Brunchorst [9], ont signalé aussi la présence des tubercules chez de nombreuses Cæsalpiniées et Mimosées. Prillieux [53] parle de ceux de l'*Acacia berteriana*.

Influence des conditions de culture. — Les conditions de culture influent beaucoup plus que la nature de l'espèce sur la présence ou l'absence des tubercules. Toutefois elles n'agissent pas avec une égale intensité sur toutes les Légumineuses. Certaines espèces sont fréquemment privées de ces organes, tandis qu'il faut des conditions de milieu tout à fait anomales pour en empêcher la production chez d'autres. Parmi les premières, il faut citer tout d'abord l'*Ornithopus*

sativus, Brot. Sur l'autorité d'A. P. de Candolle ([12]), la plupart des auteurs ont vu dans l'absence de tubercules radicaux une des principales différences entre cette plante et l'*Ornithopus perpusillus*, dont elle n'est même, pour l'auteur du *Prodrome*, que la var. β. Et en effet les tubercules des *Ornithopus perpusillus* appartenant aux autres variétés, dont l'une est même désignée sous le nom de *nodosus*, sont faciles à observer; ils ont même été figurés dès le XVIe siècle dans l'*Histoire des plantes* de Daléchamp. Tréviranus ([64]) confirme l'opinion de de Candolle et ajoute une observation dont nous devons tenir compte au sujet des théories parasitaires émises sur l'origine des tubercules: c'est que la même différence existait entre des *Ornithopus sativus* et *perpusillus* cultivés côte à côte dans le même sol et dans des conditions identiques. Schindler ([57]) fut d'abord tenté de se ranger au même avis, car les recherches auxquelles il s'était livré sur des plants d'*Ornithopus sativus* cultivés au jardin de recherches de Vienne avaient été négatives. Mais Schultz-Lupitz ([59]) l'amena à changer d'opinion en lui communiquant des observations d'où il résulte que l'*Ornithopus sativus* est privé ou pourvu de tubercules radicaux, suivant la nature du terrain où on le cultive [1].

On peut provoquer une absence totale ou relative de tubercules chez des espèces qui, dans la nature, en sont habituellement munies. Dans les sols très riches en azote, les tubercules font plus ou moins complètement défaut. Cette relation, déjà indiquée par de Vries ([56]), a été mise nettement en lumière par les recherches et les statistiques soignées de Schindler ([56]). Il constata toujours que les tubercules étaient plus nombreux et plus gros dans les exemplaires cultivés en pots dans une terre pauvre en azote que dans ceux qui avaient été semés, toutes choses égales d'ailleurs, dans un riche terreau. De plus, les tubercules abondants dans un sol inculte devinrent très rares, après que la terre eut été fumée.

Nous devons aussi à Hellriegel ([32]) de remarquables observations dans le même ordre de faits. Après avoir établi que le développement des Graminées paraît directement lié à la quantité d'acide

1. Les exemplaires d'*Ornithopus sativus* et d'*Arachis hypogea* cultivés dans un sol calcaire et richement fumé à l'École d'agriculture de Montpellier nous ont aussi paru à peu près exempts de tubercules.

nitrique qui existe primitivement dans le sol ou qui s'y forme pendant la saison de végétation aux dépens du carbonate de chaux et d'un sel ammoniacal, ou d'une autre matière azotée convenable, telle que gélatine, corne pulvérisée, etc., il a pu obtenir pour les Papilionacées une végétation tout à fait normale et luxuriante dans un sol pauvre en azote. Seulement la végétation des pois dans un tel sol offre, d'une manière constante et évidente, deux périodes nettement séparées. Tant que dure la semence, la plante croît régulièrement et a sa coloration normale. Dès que les matières de réserve sont épuisées, il y a un changement assez brusque : la croissance s'arrête ; les feuilles deviennent pâles, souvent jaunes ; la plante est visiblement affamée. Après un temps plus ou moins long, nouvelle modification : les feuilles qui avaient pâli ou jauni reprennent leur belle couleur verte ; une deuxième période de développement commence et se continue dès lors jusqu'à la maturité.

Hellriegel trouva que, pendant la phase d'inanition, le pivot et les racines latérales étaient bien développés et sains jusqu'au cœur, mais ne possédaient aucune racine tuberculeuse ou seulement de toutes petites, tandis que les racines des plantes bien vertes et bien développées étaient munies de ces nodosités, d'autant plus nombreuses et plus fortes que la plante était plus vigoureuse. Il semble résulter de là que, du moins dans les espèces à cotylédons très charnus, il existe un rapport direct entre le développement des tubercules et la croissance de la plante dans un sol pauvre en azote.

Chez d'autres Papilionacées les renflements sont bien plus précoces, car nous en avons rencontré un grand nombre sur le pivot de plantules de *Melilotus officinalis* qui n'avaient pas encore épanoui d'autres feuilles que les cotylédons. Mais il s'agissait d'individus germés dans une terre assez pauvre, tandis que les nombreuses espèces que nous avons prises dans des semis sur couche en étaient plus longtemps dépourvues.

Benecke (1) a trouvé des tubercules bien conformés sur des plantes cultivées dans la sciure.

Les Papilionacées cultivées dans l'eau en sont souvent privées. Kny (34) croyait même que les nodosités ne se produisent jamais dans ce milieu et, considérant le développement luxuriant des racines et

la belle santé des plants de *Phaseolus vulgaris, Ph. multiflorus, Pisum sativum* obtenus dans de telles conditions, il en concluait que ces excroissances ne résultent pas d'un processus normal de végétation, mais qu'elles sont probablement produites par un parasite qui trouverait dans la terre et non dans le milieu liquide les conditions favorables à sa pénétration.

Frank ([24]) de son côté observe que toutes les Papilionacées ne se développent pas également bien dans l'eau. Ainsi les lupins ne tardent pas à y périr ; les pois y acquièrent une taille normale. Il est vrai, ajoute Frank, que dans ces conditions maints individus ne forment point de tubercules ou plutôt n'en possèdent pas encore à un âge où les exemplaires végétant dans la terre en présentent déjà. Mais on trouve, notamment dans les cultures dans l'eau, sur les vieilles plantes qui ont formé un puissant appareil radical, des tubercules de toute beauté. Frank invoque aussi le témoignage du professeur Schenk ([55]) qui a obtenu des résultats identiques. Prillieux ([53]) arrivait aussi à la même conclusion. Kny ([35]) ne tarda pas à se ranger à cette opinion, tout en constatant que les causes de ces variations étaient loin d'être élucidées. Le grand âge des plantes n'est pas, comme le croit Frank, un sûr garant de l'apparition des nodosités : Kny a pu conserver trois ans un pied de *Phaseolus multiflorus,* sans qu'il s'y formât un seul tubercule.

Rautenberg et Kühn ([37]) avaient depuis longtemps été amenés par des cultures de *Vicia Faba*, à admettre que, dans l'eau comme dans la terre, la production des tubercules était inversement proportionnelle à la richesse du milieu en azote. H. de Vries ([70]) fit au cours des étés de 1875 et 1876 de nombreuses cultures de trèfle rouge dans des solutions très riches en principes azotés et obtint ainsi un certain nombre d'individus qui parvinrent au terme normal de la formation des fleurs et des fruits et parmi lesquels cinq individus étaient absolument dépourvus de tubercules, et un sixème n'en offrait que des traces. Au contraire, quelques exemplaires chétifs obtenus dans l'eau pauvre en principes azotés donnèrent de nombreux renflements bien conformés. Des cultures dans l'eau de *Trifolium pratense* et de *Vicia villosa* permirent à F. Schindler ([56]) de confirmer les résultats de de Vries. Il ne put *jamais* observer de tubercules

dans les solutions riches en azote, tandis que ces organes se produisaient régulièrement en l'absence de ce corps. Il y aurait, d'après Schindler, une concordance parfaite à ce point de vue entre les cultures dans l'eau et les cultures en terre. Pourtant, en poursuivant ses recherches, l'auteur arrive, dans un nouveau Mémoire ([57]), à des conclusions moins absolues. « Mes cultures dans l'eau, dit-il, poursuivies durant trois années avec *Trifolium pratense, Vicia villosa, Anthyllis Vulneraria, Ornithopus sativus* et *Phaseolus vulgaris,* m'ont amené à admettre que l'apparition des tubercules radicaux dans les solutions nutritives aqueuses est très inconstante et très irrégulière. En général les solutions riches en azote paraissent moins favoriser la formation des renflements que les solutions pauvres. Pourtant je ne saurais me prononcer rigoureusement sur cette question... Les trèfles rouges et les vesces velues les portaient plus abondants dans les solutions pauvres, mais pas toujours. Le développement le plus régulier et le plus précoce fut observé sur des exemplaires témoins cultivés dans l'eau de source. D'autre part, les tubercules furent observés çà et là dans des solutions riches en azote. »

Schindler avait remarqué aussi ([56]) une concordance habituelle entre le développement des tubercules et la puissance du travail d'assimilation. C'est ainsi que l'on constate une diminution dans le nombre et la dimension des tubercules, si l'on entrave le fonctionnement de la chlorophylle en soustrayant les feuilles à la radiation. L'excès d'azote influerait peut-être simplement en modifiant la santé générale et en plaçant l'individu tout entier dans des conditions défavorables à la formation régulière de tous ses organes. F. Benecke ([1]) a signalé un fait assez conforme à cette interprétation. Il retrancha à des racines de *Vicia Faba,* par une section longitudinale, une moitié de la pointe. La portion excisée fut régénérée par la plante cultivée dans l'eau ; mais les tubercules ne se formèrent qu'après la cicatrisation et dans la partie qui ne montrait plus aucune trace de lésion.

Influence des êtres organisés. — Une autre condition paraît requise pour que les tubercules apparaissent : c'est que le substratum solide ou liquide renferme certains microorganismes. Frank ([24]) sema des

pois dans un pot de fleurs rempli de terre de champ portée longtemps à une haute température et mélangée de crottin de cheval également chauffé. D'autres, comme témoins, furent semés dans la terre de champ n'ayant subi aucune manipulation. Les deux groupes se développèrent fort bien ; mais quand on les déterra, ceux qui avaient crû dans la terre stérilisée ne présentaient pas un tubercule ; les autres en avaient tous sans exception une quantité innombrable sur chaque pied. On pouvait opposer à ces expériences la riche fumure des sols privés de germes, en sorte qu'on ne saurait décider si c'est à l'excès d'azote ou à la destruction des microbes qu'était due l'absence de renflements. Deux lots de pois cultivés, les uns dans l'eau bouillie, les autres dans de l'eau non chauffée, offrirent au même auteur une proportion sensiblement égale de plants munis de tubercules et de plants qui en étaient dépourvus; mais Frank pense que les germes étrangers pouvaient plus facilement se propager dans l'eau bouillie que dans la terre stérilisée. Schindler ([56]) confirma les expériences de Frank en ce qui concerne les cultures dans un sol stérilisé ; de plus il obtint un résultat analogue par les essais dans l'eau. Dans un milieu liquide soumis à l'ébullition, il ne vit jamais se former de tubercules. Il remarque d'ailleurs que les *Vicia villosa* et *Trifolium pratense* formés dans la terre calcinée ne prenaient pas un développement normal; les trèfles gardaient des dimensions inférieures à celles des pieds obtenus dans la terre ordinaire. On ne pouvait donc décider d'après ces expériences si l'absence de tubercules résultait de la destruction des microorganismes ou d'un dépérissement général des plantes.

Prillieux ([53]), il est vrai, avait pu produire sur des germinations de pois des tubercules nettement caractérisés en plaçant les jeunes plants dans l'eau où plongeait une touffe de trèfle chargée de tubercules, et il semblait naturel d'attribuer ce phénomène à une sorte d'infection artificielle produite par des bactéries dont la présence était en corrélation directe avec celle des tubercules eux-mêmes.

Mais c'est à Hellriegel ([32]) que nous devons les recherches les plus approfondies pour résoudre cette question : L'expérience suivante semble prouver que la formation des radicelles tuberculeuses et la bonne végétation de la plante sont à volonté provoquées ou favo-

risées par l'addition de germes vivants et que ces deux résultats sont entravés par l'absence de ces microorganismes. Sur 40 tiges de pois végétant en sol non azoté, 10 furent arrosées d'une faible quantité d'extrait aqueux de sol fertile.

La première phase de la végétation se passa bien ; dans la deuxième semaine, l'aspect devint maladif, les feuilles pâlirent, puis jaunirent, signe que la réserve de la graine était épuisée. Jusqu'à ce moment aucune différence entre les 40 pots en expérience. Mais déjà au 13 juin elle commença à se montrer et, au 18 juin, elle était devenue si sensible qu'elle se reconnaissait de loin. Dans les 10 pots ensemencés de bactéries, les plantes avaient repris leur belle couleur verte et se mettaient à croître à l'envi. Des 30 pots où l'introduction des microorganismes avait été laissée au hasard, deux avaient, à cette date, un développement semblable aux précédents, tous les autres souffraient plus ou moins de la disette d'azote et certains étaient devenus tout jaunes. Au 30 juin, les plantes avec bactéries développaient leur dixième feuille et avaient un aspect luxuriant. Une seulement des 20 tiges était restée en arrière comme hauteur, mais la belle couleur vert foncé des feuilles excluait l'idée d'un manque d'azote et l'examen montra que la racine principale était devenue malade un peu au-dessous de son point d'origine et avait fini par mourir. Dans le lot sans bactéries, l'aspect, à la même date, était très varié, comme on peut l'imaginer. Des 60 plantes comprises dans ce lot, 10 environ avaient à peu près le même développement que celles du lot à bactéries, 5 étaient restées en arrière et presque mortes, les 45 autres offraient tous les états intermédiaires entre ces deux extrêmes.

A cette époque, on arracha les plantes de 2 pots à bactéries et de 5 pots sans bactéries et l'examen des racines montra de la façon la plus éclatante la relation qu'il y a entre la végétation de la plante et le développement des radicelles tuberculeuses.

Sur 22 pots non ensemencés de bactéries, 5 seulement donnèrent plus de 15 grammes de matière sèche ; le poids fourni par les 17 autres variait entre 1gr,640 et 13gr,190. Les résultats pour les pots avec bactéries s'élevèrent toujours au-dessus de 15 grammes.

La cause de cette influence incontestablement avantageuse

qu'exerce ici l'addition d'une faible quantité de solution de sol ne peut être attribuée qu'à l'introduction des germes des microorganismes ; car les 25 cent. cubes de solution ne renfermaient pas 1 milligramme d'azote et les traces des autres principes apportés en même temps ne pouvaient avoir aucun effet dans un sol qui en était richement pourvu.

Le résultat de l'expérience suivante vient encore confirmer cette assertion :

« Deux pots furent arrosés avec 25 cent. cubes d'extrait aqueux d'un sol non azoté ; seulement la solution fut préalablement stérilisée par une ébullition assez prolongée et les pots furent recouverts d'une couche de ouate stérilisée. Les pois semés germèrent fort bien ; les plantes se développèrent tant que dura la semence et, jusqu'à la formation de leur sixième feuille, marchèrent du même pas que celles des 10 premiers pots ensemencés. Mais à ce moment la privation de nourriture se fit sentir, l'accroissement si bien commencé s'arrêta, les plantes restèrent stationnaires, essayèrent de produire une faible pousse latérale, mais ne purent aller plus loin et moururent sans fructifier. On ne trouva sur elles aucune trace de tubercules. »

Ces expériences elles-mêmes ne démontrent pas une relation immédiate entre la présence des microbes et celle des tubercules, puisque l'absence de ceux-ci coïncidait toujours avec une souffrance générale et qu'elle peut aussi bien s'expliquer par l'état maladif empêchant la plante de développer tous ses organes, que par une propriété spécifique qu'auraient les microorganismes de provoquer directement le renflement des radicelles.

Des végétaux d'une tout autre nature et dépourvus d'organes comparables aux nodosités des Légumineuses ne sauraient suivre le cours normal de leur évolution dans une terre entièrement privée de germes. E. Laurent (*Les Microbes du sol.* — Recherches expérimentales sur leur utilité pour la croissance des végétaux supérieurs. — *Bulletin de l'Académie royale de Belgique,* 56e année, 3e série, tome XI, 1886) a fait sur le sarrasin des expériences précises qui mettent ce fait hors de doute. Il comparait quatre lots de plantes : le premier avait été semé dans du terreau naturel, le second dans du terreau stérilisé, puis inoculé avec des bactéries du sol, le troi-

sième dans du terreau stérilisé, le quatrième dans du terreau stérilisé avec addition d'engrais chimiques. La deuxième série était mise en expérience, afin de s'assurer que la haute température à laquelle le terreau a été porté ne le rend pas impropre à la nourriture des plantes. « Il suffit, pour cela, dit l'auteur, d'établir qu'en lui inoculant les bactéries du sol, on lui fait reprendre peu à peu ses propriétés alimentaires. On peut donc s'attendre à voir les plantes de la deuxième série, inférieures d'abord à celles de la première, regagner graduellement la distance perdue et c'est ce qui est arrivé. » La troisième série comparée à la deuxième montre la part qui revient à l'action des bactéries. Enfin la quatrième réalise artificiellement l'action naturelle des microbes, puisqu'elle offre à la plante des produits de laboratoire analogues à ceux qui résultent, dans le sol, de la présence des infiniment petits.

Dès les premiers temps qui suivirent la germination, les deux premières séries prirent une avance assez marquée sur les deux autres. A certains égards même (nombre des fleurs), les semis effectués dans le sol calciné, puis réinfecté, l'emportèrent sur ceux qui avaient été opérés dans le terreau naturel. A tous les points de vue, la troisième série se montra très inférieure aux autres. Et cependant, comme le remarque Laurent, les plantes cultivées dans le terreau privé de bactéries ont encore profité des matières minérales produites par ces microbes avant la stérilisation.

Ces différences sont liées sans doute à la présence de ces ferments nitriques dont la connaissance est due surtout aux recherches de Schlœsing et Müntz. Il est vrai que Frank ([26]) a nié récemment le rôle des microbes dans la nitrification du sol ; mais les mêmes expériences répétées par Landolt l'ont amené à des résultats contradictoires.

On ne saurait donc affirmer *à priori*, à la suite des faits relatés par Hellriegel, que les cryptogames, dont l'action semble nécessaire pour que les nodosités apparaissent, aient une influence d'un autre ordre que les Bactériacées vulgaires qui pullulent dans le sol et qui favorisent la nutrition des plantes ordinaires.

Une autre observation du même auteur parle plus clairement en faveur de la spécificité des organismes auxquels est lié le dévelop-

pement des Légumineuses. On pourrait même en conclure que l'assistance de divers cryptogames est nécessaire aux différents types de Papilionacées. Hellriegel n'avait pu réussir à faire prospérer des lupins dans du sable dépourvu de matière azotée. Cette résistance n'offrait pas d'exception, tandis que des pois placés dans des pots au milieu de ceux qui contenaient les lupins et cultivés dans des conditions analogues offraient des résultats très variés. Ces différences s'expliquaient par l'arrivée accidentelle des germes nécessaires au contact des pois, mais rendaient bien plus énigmatiques les phénomènes observés sur des lupins exposés aux mêmes chances d'infection.

Hellriegel fit à ce sujet de nouvelles expériences : après avoir planté des lupins dans du sable dépourvu d'azote, on laissa un premier lot tel quel ; on arrosa un second lot avec un extrait aqueux d'un échantillon de terre provenant d'un champ de lupins et un troisième avec un extrait d'un sol argilo-marneux riche en humus et impropre à la culture du lupin. La germination et la première période de végétation se passèrent normalement ; puis les plantes entrèrent dans la phase d'inanition et montrèrent toutes le même aspect misérable trente jours après la plantation. Puis, à partir de cette date, changement complet. Les lupins du second lot commencèrent à prendre une belle couleur verte, une apparence vigoureuse, et à croître rapidement, tandis que ceux des premier et troisième lots conservaient leur teinte maladive d'un brun rougeâtre, leur aspect languissant, et restaient stationnaires dans leur état d'inanition.

En examinant les racines on vit que les plantes du deuxième lot qui avait reçu les bactéries du sol sablonneux montraient toutes leur pivot garni de gros tubercules, comme on en voit sur les lupins végétant normalement à l'air libre dans les conditions les plus favorables. Les racines des pieds affamés du troisième lot (bactéries du sol riche en humus) n'ont présenté que sur une seule racine une nodosité unique; encore était-elle très petite. Sur les racines du premier lot (resté tel quel) on ne put en découvrir la moindre trace.

Le lupin s'est comporté sous tous les rapports comme une autre Papilionacée caractéristique des terrains siliceux, la serradelle (*Ornithopus sativus*), tandis que les pois, les vesces, les féveroles se sont le mieux développés dans les pots arrosés avec la solution du sol

riche en humus, et que le trèfle rouge n'a présenté aucune différence notable de végétation dans les trois milieux.

Il semble donc que le développement des tubercules des lupins et de l'*Ornithopus sativus* exige l'intervention d'un microorganisme moins répandu que l'espèce qui favorise la végétation de la plupart des Papilionacées. Cette dernière, comme le remarque Frank ([24]), doit avoir une distribution ubiquiste et constante qui ne se trouve pas chez les parasites ordinaires des végétaux. Cette circonstance rappelle bien plutôt la présence universelle des germes des agents vulgaires de la fermentation et de la pourriture, qui ne manquent jamais d'apparaître sur tout support approprié, dont l'entrée leur est ouverte. Nous pouvons ajouter qu'elle n'a pas peu contribué à faire admettre *à priori* que les organismes en question devaient appartenir au groupe des Bactériacées et à faire méconnaître les cryptogames d'ordre plus élevé qui sont réellement en jeu.

En résumé, la présence ou l'absence des tubercules est influencée par plusieurs facteurs, tels que l'espèce, l'âge, l'éclairement, la vigueur de l'individu, la richesse du sol en principes azotés, la présence de certains organismes inférieurs.

Influence de la région de la plante. — Les auteurs qui se sont occupés de la question sont d'accord pour considérer les tubercules comme des dépendances constantes des racines. Plusieurs d'entre eux, Eriksson ([23]) parmi les anciens, Tschirch ([67]) parmi les plus récents, affirment explicitement qu'ils n'existent jamais sur les rhizomes. Lecomte ([39]) seul dit qu'on en voit aussi sur les tiges souterraines, mais il n'a pas encore fait connaître chez quelles espèces ni dans quelles circonstances. Tschirch ([67]) observe que les excroissances décrites par Bouché ([8]) à la base de la tige du *Phaseolus* et que l'on trouve constamment sur les exemplaires de plusieurs années n'ont rien à faire avec les tubercules.

Tréviranus ([64]) a déjà noté que ces organes se montrent sur le pivot comme sur les radicelles même filiformes et qu'on ne saurait constater en eux de préférence pour l'une ou pour l'autre de ces racines, ni de lieu de prédilection dans leur situation sur ces membres. Toutefois, ils ne se montrent pas plus que les radicelles ordinaires sur les portions les plus jeunes des racines.

On est frappé de leur apparition irrégulière dont les allures capricieuses ne se retrouvent pas chez les appendices normaux. Comme le remarque Eriksson ([23]), les tubercules se forment sans ordre précis dans le temps ni dans l'espace. Le même botaniste dit qu'ils commencent à se développer quand les racines latérales ont à peu près atteint leur taille. Cette règle offre bien des exceptions. Nous en avons trouvé un grand nombre sur des pivots de mélilot, de *Galega*, etc., sur lesquels les radicelles normales commençaient à peine à poindre. Dans plusieurs cas, les plantules n'avaient encore déployé aucune autre feuille que les cotylédons.

Les tubercules du lupin sont généralement groupés autour du collet. D'autres espèces présentent d'ailleurs des variations individuelles plus ou moins étendues, liées aux diverses conditions de végétation et cette localisation accidentelle s'explique aisément si l'on songe que des actions de milieu peuvent amener une absence totale de tubercules. Chez le trèfle rouge, par exemple, il nous est arrivé de trouver des plants pourvus au voisinage de la surface du sol d'un chevelu tellement chargé de renflements, que les radicelles comme le pivot disparaissaient sous d'énormes chapelets ou des grappes compactes de tubercules, tandis que les portions profondes du pivot et de ses ramifications n'en portaient point ou en présentaient quelques-uns seulement, très clairsemés. Tschirch ([67]) a fait des observations analogues au sujet des *Phaseolus* et *Medicago*.

Nature.

Les opinions les plus diverses ont été émises au sujet de la nature de ces tubercules. Malpighi ([44]) en faisait des galles; toutefois, il émettait cette manière de voir avec une certaine réserve, attendu qu'il n'y a observé ni cavité contenant un œuf ou une larve, ni perforation correspondant à une piqûre d'insecte. Tréviranus ([64]), en rapportant cette théorie, croit que la situation de ces organes aurait dû mettre Malpighi en garde contre une telle hypothèse. Mais il n'y a pas incompatibilité entre l'habitat souterrain et une production de galles. Ainsi les navets, les colzas, les choux présentent des tumeurs de cette nature provoquées par des *Anthomyia* et, au dire de

Frank ([24]), la maladie causée par ces insectes ne serait pas moins fréquente en Allemagne, du moins dans les environs plus ou moins immédiats de Leipzig, que la hernie causée par le *Plasmodiophora*.

Cornu ([16]), ayant rencontré sur les racines de sainfoin des galles d'anguillules à côté des tubercules qui nous occupent, fut d'abord trompé par cette coïncidence et considéra ces derniers comme des excroissances produites par les petits vers parasites. Mais il ne tarda pas à reconnaître cette confusion et à déclarer ([17]) que les renflements habituels n'ont rien à faire avec les anguillules.

Bivona ([3]) en fit des champignons développés sur les racines et distingua deux espèces correspondant : la première, *Sclerotium lotorum*, aux formes simples, la seconde, *Sclerotium medicaginum*, aux types plus ou moins lobés. C'est sans doute aux mêmes organes que se rapporte le *Sclerotium rhizogonum* observé par Persoon ([49]) sur les racines du pois et de la vesce. Fries ([23]) adopte l'opinion de Bivona; il remarque pourtant que ces parasites ne causent aucun dommage à leur hôte.

Bon nombre d'auteurs y voient de simples excroissances des tissus de la racine. Ce seraient, d'après A. P. de Candolle ([12] et [13]), des tumeurs morbides, des « exostoses charnues ». Tulasne ([69]), sans s'expliquer sur leur nature normale ou pathologique, affirme « que ce ne sont très certainement que des excroissances solides formées de tissu cellulaire ». C'est à peu près ce que disait déjà Daléchamp à propos de son « pied d'oiseau » qui est l'*Ornithopus perpusillus* : « Nous avons icy adjousté le pourtrait d'une autre herbe que Dalechamp appelle *Ornithopodion*, qui croist en lieux secs et sablonneux avec plusieurs racines esparces çà et là, et cheveluës, toutes garnies de bossettes comme de neuds, durs et ronds... » ([19] p. 409).

Clos ([14] et [15]) admet que les tubercules des Légumineuses sont des lenticelles dont la grande taille et la forme arrondie seraient dues au milieu spécial dans lequel elles se développent. Mais, comme Tréviranus l'a depuis longtemps observé, la nature des racines, privées d'épiderme et de stomates, est en contradiction avec la définition même des lenticelles. Au reste il y a entre des racines rudimentaires et des lenticelles très puissantes des relations d'aspect assez nettes, pour que l'on ait commis plus récemment une confusion qui est

directement la réciproque de l'opinion de Clos. Dans les galeries qui traversent les tiges renflées du *Myrmecodia echinata,* il existe des lenticelles saillantes, extraordinairement développées, qui étaient prises pour des suçoirs, avant que Treub en eût fixé la véritable valeur morphologique.

L'opinion de Clos, comme toutes les théories qui précèdent, est absolument incompatible avec la présence de vaisseaux dans les tubercules. Gasparrini ([29]) est le premier auteur qui en ait mentionné l'existence. Il considérait les renflements des Légumineuses comme des pointes de racines et les nommait pour ce motif tubercules spongiolaires (*Tubercoli spongiolari*). Kolaczeck ([36]), ayant remarqué que, desséchés, ils reprenaient rapidement leur turgescence dans l'eau, les considérait aussi comme des racines spongieuses (*Schwamm-wurzeln*).

Pour Tréviranus ([64]), les organes dont il s'agit seraient des bourgeons imparfaits à base tubéreuse ; à l'appui de sa thèse il invoque des arguments bien indirects tirés de l'anatomie comparée. Il rappelle l'existence de fleurs hypogées, plus ou moins réduites par rapport aux organes reproducteurs aériens, mais cependant fertiles. A vrai dire, on trouve dans d'autres familles, par exemple chez quelques espèces de Polygalées et de Crucifères, outre la fructification normale, une autre souterraine, mais sans que cette formation atteigne la même généralité que chez les Légumineuses. Tréviranus a cru remarquer aussi que la formation des fruits souterrains et celle des tubercules ne coexistent pas fréquemment et qu'elles semblent en quelque manière se substituer l'une à l'autre. Il rappelle aussi l'apparition de bulbes ou de tubercules à la place des graines chez diverses monocotylédones et il conclut de tous ces rapprochements que chez les Légumineuses les bourgeons floraux, normaux sur la tige aérienne, anormaux vers le collet, deviennent tout à fait imparfaits quand ils se développent sur les racines où ils sont représentés par les tubercules. Le défaut d'air et de lumière rendrait compte d'une telle infériorité et de l'arrêt de développement qui, dans la règle, empêche ces sortes de bourgeons de végéter. Il pense même, sur la foi de Doody, dont l'opinion est rapportée par Dillénius ([21]), que cette règle n'est pas sans exception. Doody aurait observé des

Ornithopus perpusillus qui ne donnaient point de fruits, mais se multipliaient par les tubercules des racines. Cette assertion, que Tréviranus n'a pu confirmer *de visu*, a été contredite par tous les auteurs. Pourtant nous avons observé sur des portions souterraines de tige du *Vicia sepium* au printemps de véritables bourgeons dont la feuille axillaire n'était pas distincte. Le sommet présentait des rudiments de feuilles; la base était charnue et assez dilatée. Leur couleur blanche d'ailleurs les distinguait à première vue des tubercules proprement dits et l'examen microscopique y révélait la structure habituelle des tiges, sans qu'on y pût déceler aucune des particularités si importantes que nous aurons à noter dans les organes décrits par Tréviranus. Une observation analogue a bien pu être l'origine de l'erreur de Doody. Tout récemment Tschirch ([67]), reprenant la comparaison de Tréviranus, mais à un autre point de vue, s'est demandé aussi si la formation des fruits souterrains, aussi bien que celle des tubercules, n'avait pas pour but l'élaboration de certains groupes de substances albuminoïdes qui se formeraient exclusivement dans l'obscurité. Cette concordance physiologique n'impliquerait d'ailleurs en rien l'homologie des organes où on l'observe.

Cornu ([17]) trouve que leur structure ne se rapporte ni à la tige, ni à la racine ; pourtant il croit que ce sont peut-être des radicelles.

De Vries ([70]), Tschirch ([67]), Van Tieghem et Douliot ([22]), etc., voient dans les tubercules une forme particulière de racines. Mais le plus grand nombre des auteurs pensent que leur forme et leur structure spéciales sont dues à l'action d'un cryptogame. La nature de cet être est d'ailleurs très controversée, puisque, pour Woronin ([76] et [77]) et ses partisans, c'est une bactérie, pour d'autres, Prillieux ([53]) et Kny ([34] et [35]), un Myxomycète, pour d'autres encore, un champignon plus élevé qui serait en cause. Eriksson ([23]) a été le principal promoteur de cette dernière opinion. Le mode d'action de l'être étranger a aussi été diversement apprécié : pour les uns ce serait un parasite, pour d'autres un symbiote.

Pour trancher cette question si importante au point de vue du rôle des tubercules, nous avons fait un examen approfondi de leurs propriétés anatomiques et histologiques, aussi bien que des produc-

tions de nature différente qui sont en rapport avec ces organes. Les descriptions que l'on va lire nous amènent à démontrer que les tubercules radicaux des Légumineuses sont des mycorhizes, c'est-à-dire des racines unies à un champignon vivant en symbiose avec elles.

Développement.

Ordre d'apparition. — Envisageons les tubercules dans une région où ils sont bien développés : comme l'ont indiqué Eriksson ([23]), de Vries ([70]), etc., ils ne semblent obéir à aucune loi rhizotaxique. Ils ne naissent pas régulièrement en progression basifuge ; ici les excroissances sont nombreuses et entassées ; là de longs espaces en sont dépourvus. Eriksson avait déjà avancé que les tubercules se montrent aussi bien en face des cordons vasculaires que des cordons libériens ou de l'espace qui les sépare. Ceci est parfaitement exact et provient de l'influence étrangère qui préside à la genèse du tubercule et qui peut agir aussi bien sur les portions situées en face des îlots libériens que sur les zones correspondant aux cordons vasculaires. Mais néanmoins les éléments normalement rhizogènes entrent seuls en jeu, c'est-à-dire, comme l'ont démontré Van Tieghem et Douliot ([22]), les cellules du péricycle situées en face du bois quand il y a plus de deux faisceaux. Seulement, suivant les cas, un ou plusieurs îlots rhizogènes seront sollicités à évoluer en racine et le tubercule correspondra à une ou plusieurs radicelles concrescentes.

On peut donc dire, et cette constatation est d'une grande importance au point de vue de la valeur morphologique des tubercules, que ces organes, sans apparaître dans la même succession ni à des distances aussi régulières que les radicelles ordinaires, répondent néanmoins, dans leur situation radiale, aux règles rhizotaxiques. Les apparences contraires sont dues à une perturbation de même nature que les anomalies étudiées avec tant de soin par Van Tieghem, dans les cas de racines doubles des autres types végétaux.

Tissu générateur. — On trouve dans la littérature des opinions discordantes au sujet du tissu générateur des tubercules et plusieurs auteurs ont cru que leur mode de formation les éloignait des racines ordinaires. Eriksson ([23]) constata d'abord la naissance des radicelles

par un cloisonnement radial et surtout tangentiel du péricycle ou assise périphérique du cylindre central, suivi d'une certaine prolifération de l'endoderne ou zone interne de l'écorce. La première apparition des tubercules, au contraire, serait marquée par la condensation du protoplasma des cellules les plus internes de l'écorce, qui deviendraient le siège d'une segmentation active et sans ordre. Plus tard seulement, le péricycle prendrait part à la division. Prillieux ([53]) exprimait la même opinion : « C'est, disait-il, non dans le péricambium, mais dans la partie profonde du parenchyme cortical, au voisinage c'est vrai, mais à l'extérieur de la couche protectrice, que les cellules se divisent d'abord et que va apparaître un tissu nouveau. Quand il commence déjà à se développer, on voit, en examinant la coupe à un faible grossissement, un point voisin du cylindre central qui se distingue par son peu de transparence du reste du parenchyme cortical » ; et il concluait que le lieu et le mode d'apparition des racines secondaires et des tubercules sont trop différents pour qu'on puisse les considérer comme de même nature. B. Frank ([24]) reproduit à peu près la description d'Eriksson.

Tschirch ([67]) admet aussi que les tubercules naissent généralement aux dépens de l'écorce. Le lupin seul se distinguerait des Papilionacées ordinaires en ce que le péricycle et rien que lui y produirait les excroissances.

Cette apparente discordance entre les tubercules et les radicelles avait paru s'effacer, quand E. de Janczewski eut annoncé que plusieurs Légumineuses s'éloignent du type habituel en formant des radicelles, non dans le péricycle, mais dans l'écorce de leurs racines et quand Lemaire fut arrivé à la même conclusion en ce qui concerne les racines latérales formées sur les tiges. Prillieux ([54]) avait aussi renoncé à voir dans cette propriété une opposition entre les tubercules et les radicelles, depuis les travaux de L. Koch (*Die Entwickelungsgeschichte der Orobanchen*. Heidelberg, 1887) sur la naissance des racines des Orobanches hors du cylindre central.

Mais Van-Tieghem et Douliot ont proposé une nouvelle interprétation des faits observés par Janczewski et Lemaire. Pour eux toutes les parties propres à la jeune racine sont formées aux dépens du péricycle. Les assises issues de l'endoderme, constituant la « fausse

coiffe » de Lemaire, sont annexées au membre nouveau sans en faire partie intégrante. La coiffe, dans ces complexes, comprend deux parties morphologiquement distinctes et méritant des noms spéciaux : la *calyptre* appartenant seule à l'appendice, la *poche* dépendant de la racine mère. Cet organe simple en apparence se composerait donc de deux zones aussi distinctes que le sont, par exemple, les portions maternelle et fœtale qui se combinent en un placenta unique chez les animaux supérieurs.

Dans un travail tout récent (22), les mêmes auteurs établissent que, dans les tubercules, l'endoderme ne donne non plus naissance qu'à la poche. De cette façon ce qui, dans le tubercule, est distinct du membre générateur, dérive exclusivement du cylindre central. De Vries (70) était depuis longtemps arrivé à la même conclusion en ce qui concerne les renflements du trèfle rouge. « Ils procèdent, dit-il, tout comme les autres radicelles, de la périphérie du cylindre fibro-vasculaire de la racine mère ; mais au lieu de faire irruption à travers l'écorce, ils restent longtemps couverts par ce tissu tuméfié. »

Cette manière de voir est parfaitement exacte. Toutefois il peut arriver que le contenu des assises corticales soit modifié sous l'influence des cryptogames qui les traversent pour arriver au péricycle. On voit même, mais non d'une façon constante, quelques cloisons apparaître sans ordre dans l'endoderme et dans les cellules voisines, en même temps que l'assise rhizogène entre en jeu ; mais ce cloisonnement irrégulier, dont les anciens observateurs se sont exagéré l'importance, n'a rien de commun avec la production de racine qui est l'acte essentiel de la naissance du tubercule.

Structure.

Poche. — La poche se reconnaît encore aisément sur des tubercules âgés et l'on n'en saurait méconnaître l'origine, car c'est au sommet seulement qu'elle subit une prolifération assez active pour confondre les tissus engendrés par elle avec le méristème terminal issu du péricycle. A la base, la continuité de la poche avec l'écorce de la racine mère est d'autant plus évidente, que l'endoderme garde parfois sur une certaine étendue les ponctuations caspariennes.

Cornu ([17]) est, croyons-nous, le seul botaniste qui ait reconnu ces stigmates ; il les a même figurés sans toutefois s'en expliquer l'origine ni la signification. Il croyait en effet que cette assise « qui simule une gaine protectrice » est la couche la plus intérieure de l'écorce de la radicelle.

Toutefois les cadres d'épaississement, dont les ponctuations sont la coupe, tout en présentant la subérisation de ceux de l'endoderme, n'en offrent pas les plissements caractéristiques sur les faces radiales. Ce fait s'explique aisément si l'on songe que, dans le tubercule, les tissus contenus par ce réseau subérisé se sont dilatés dans tous les sens, la forme de l'organe approchant de la sphère au début, tandis que, dans les membres cylindriques, l'expansion contre laquelle réagit l'endoderme s'exerce dans le sens des rayons et non dans celui de l'axe.

Fréquemment l'endoderme, seul ou conjointement aux couches corticales internes, subit de nombreuses divisions tangentielles en progression centripète et la poche forme au tubercule un manteau de liège. Cette disposition n'a pas échappé à Cornu. Les cellules plus extérieures que l'assise ponctuée présentent, dit-il, des alignements remarquables.

Les cellules les plus extérieures du liège se flétrissent de bonne heure et, mises à nu par la destruction du reste de l'écorce, elles donnent à la surface du tubercule cet aspect furfuracé qui a frappé de tous temps les botanistes. Les couches internes se subérisent au moins dans la région basilaire et les ponctuations disparaissent dans l'épaississement général. Dans les parties qui avoisinent la pointe on ne voit plus de cadres d'épaississement, mais l'endoderme peut encore subir en masse la transformation subéreuse de ses minces parois.

Chez le *Dorycnium herbaceum*, etc., quelques cellules disséminées dans la portion extérieure de la poche ou parfois réunies en petits groupes prennent une forme arrondie. Des portions considérablement épaissies de leurs parois circonscrivent des mailles minces et inégales. Toutes les parties épaissies se subérisent. Finalement la paroi entière envahie par cette modification chimique prend une teinte très foncée par le vert d'iode. Cette coloration persiste dès

années, même en présence de la fuchsine, tandis que le liège, l'endoderme, les vaisseaux fixent exclusivement le réactif rose.

Grâce aux caractères de l'endoderme, la naissance des radicelles aux dépens du péricycle est presque toujours facile à reconnaître à première vue. Néanmoins, la poche leur est concrescente et reste une dépendance si directe du jeune membre, que la plupart des auteurs l'ont décrite comme une zone de tubercule. C'est à cette portion de la racine mère que Tréviranus ([64]) fait allusion, quand il parle d'une écorce incolore, dont les cellules polyédriques sont bien plus grandes que celles du tissu interne ; c'est à elle que se rapporte au moins en grande partie la locution de parenchyme extérieur (*äusseres Parenchym*) employée par Woronin ([76] et [77]), puis par Eriksson ([23]). Ce dernier auteur remarque que le parenchyme externe semble jouer le rôle d'une coiffe radicale. C'est bien là en effet la signification de la poche corticale; mais Eriksson s'éloigne de la vérité, quand il admet que les 5-10 assises corticales à membrane épaisse proviennent du jeu d'une sorte de cambium double qui donnerait en dedans et en progression centrifuge le parenchyme, méristématique au sommet, fortement différencié à la base. Sauf peut-être à l'extrême pointe, où les éléments issus de l'endoderme et ceux qui proviennent du péricycle, en d'autres termes, la poche et la calyptre, se confondent sans démarcation bien nette, ces deux régions dérivent de génératrices aussi distinctes que possible. La poche répond à la description de Cornu, quand cet éminent botaniste parle d'une sorte d'étui cortical formé de cellules dont le grand axe est parallèle au contour du renflement et dont l'assise la plus interne ressemble à l'assise protectrice de la radicelle.

Frank ([24]) distingue du parenchyme externe qui est la poche un procambium situé entre ce dernier et le parenchyme interne et dans lequel se développent les cordons fibro-vasculaires du tubercule. Ce prétendu procambium comprend l'écorce proprement dite. Eriksson avait déjà fait allusion à ce tissu, au jeu duquel était liée dans son esprit la production des deux autres.

Tschirch ([67]) a trouvé un certain nombre d'espèces dans lesquelles les tubercules se vident pendant la période de maturation des graines et où le tissu intérieur se détruit totalement. Et en effet, sur les racines

âgées, on trouve aisément des tubercules réduits à une sorte d'enveloppe subéreuse souvent perforée au sommet et les coupes pratiquées dans ces vésicules montrent qu'elles sont à peu près réduites à la portion appartenant à la racine mère, tapissée de débris informes dans lesquels on distingue les faisceaux et leurs gaines subérisées.

De Vries ([70]), dans le passage rapporté plus haut, est le premier auteur qui ait sainement apprécié l'origine de ce tissu extérieur et qui ait reconnu l'existence d'une couche corticale *à petites cellules,* correspondant à ce que, dans la suite, Frank a pris pour un procambium. Presque en même temps Prillieux ([53]) constatait que le tubercule, avant de sortir du corps de la racine et de s'arrondir librement au dehors, grossit en repoussant devant lui les cellules voisines du parenchyme cortical, qui prennent bien quelque extension, mais ne peuvent suivre le rapide développement du corps qu'elles recouvrent et se désagrègent bientôt. Ce tissu qui s'émiette dans les parties extérieures présente, comme le remarque aussi Prillieux, tous les caractères d'un liège. Van Tieghem et Douliot ([22]) ont insisté avec plus de précision sur le fait indiqué par de Vries et Prillieux : « L'endoderme et quelquefois aussi les assises corticales internes (de la racine mère) agrandissent et cloisonnent leurs cellules autour des tubercules, de façon à les envelopper d'une poche digestive plus ou moins épaisse, qui digère le reste de l'écorce, les accompagne jusqu'à leur sortie et forme à leur surface une couche plus tard subérifiée. »

Tissus propres au tubercule. — La structure des tubercules varie avec l'âge. A leur état jeune, comme le remarque de Vries ([70]), ils sont entièrement méristématiques et remplis dans toute leur étendue d'un contenu albuminoïde dense. Divers auteurs, notamment Clos ([14] et [15]), Bivona ([3]), Fries ([28]), Tulasne ([69]), ont cru qu'ils demeuraient indéfiniment à l'état de tuméfactions purement cellulaires. En réalité il se produit dans leur masse une série de transformations également importantes aux points de vue anatomique, histologique et chimique.

Deux systèmes anatomiques doivent successivement fixer notre attention : le parenchyme, les faisceaux.

Faisceaux.

Historique. — Tréviranus [64] avait déjà remarqué la disposition en cercle des vaisseaux vers la périphérie d'une coupe pratiquée transversalement au milieu de l'organe. Woronin en donne une description plus soignée [77] au sujet des lupins de jardin, *Lupinus mutabilis* et *Cruikshanksii :* « Du faisceau vasculaire central de la racine, dit-il, s'échappent d'autres faisceaux vasculaires plus déliés qui vont se diviser et finalement se perdre dans le tissu parenchymateux des excroissances. La répartition de ces filets vasculaires entre les cellules du tissu se fait très irrégulièrement et à leur terminaison ils ne se composent ordinairement que d'un petit nombre de vaisseaux, quelquefois d'un seul. »

Eriksson [23] précise davantage encore. Il a bien observé la gaine endodermique propre à chaque faisceau, avec ses stigmates caspariens, les grandes cellules à membrane mince répondant au péricycle de la racine ; mais il n'a pas saisi les relations du bois et des éléments cribreux ; il dit simplement que les vaisseaux spiraux sont situés au centre d'un tissu de petites cellules à parois délicates. Il a indiqué aussi la manière dont ces faisceaux, disposés en cercle dans le tubercule même, confluent à la base en un seul point si le tubercule est inséré en face d'un cordon vasculaire, en deux groupes au moins s'il apparaît en face d'une bande libérienne.

De Vries [70] est moins explicite sur la façon dont ces faisceaux se raccordent avec ceux de la racine mère ; on pourrait croire d'après sa description qu'ils s'insèrent isolément. Au lieu de constater avec la plupart des auteurs que le nombre de ces faisceaux va en augmentant à mesure que l'on s'éloigne du membre générateur, il cite le cas d'un tubercule dont les coupes transversales offraient à la base sept faisceaux, un peu plus haut six, et vers le milieu quatre seulement.

Cornu [17] ne s'est pas occupé de l'insertion des faisceaux, mais il a donné de leur structure sur une coupe transversale de la région moyenne une description excellente et trop peu connue. On s'explique d'ailleurs que tous les botanistes n'aient pas songé à aller cher-

cher cette étude exacte des tubercules des Légumineuses dans un mémoire sur le *Phylloxera* et pour notre compte nous ne l'avons connue qu'après être arrivé de notre côté aux mêmes résultats et les avoir même signalés incidemment dans un travail sur un autre objet (71). Cornu a parfaitement représenté (pl. XVI, fig. 13) le faisceau libéro-ligneux possédant sous la zone plissée un péricycle formé d'une assise unique et continue, les vaisseaux tournés vers la périphérie, le liber tourné vers l'axe. Au reste, l'auteur n'a pu à l'aide des théories régnantes sur la disposition des éléments conducteurs des plantes vasculaires, s'expliquer la valeur morphologique d'une telle organisation : « La nature et surtout l'orientation de ces faisceaux sont fort curieuses et dignes de remarque ; cette structure ne se rapporte ni à la tige ni à la racine. »

Prillieux (53) insiste peu sur ce point. Il signale seulement l'abondance des cordons vasculaires dans certains tubercules, puisqu'il en a compté jusqu'à 35 ou 40 chez l'*Acacia berteriana.*

Tschirch (67) rappelle la division dichotomique des faisceaux qui, pour lui, confluent tous en un cordon fasciculaire unique au niveau de l'insertion sur la racine mère.

En comparant les relations des faisceaux aux divers niveaux de leur trajet depuis l'insertion des tubercules, nous avons pu nous convaincre (71) que ce sont bien des faisceaux de racine, groupés à la base comme dans les cas ordinaires, mais soumis dans la portion renflée à une anomalie dont on retrouve le pendant chez les Lycopodinées. Nous avons vu aussi (72) dans certains cas plusieurs radicelles, superposées ou juxtaposées, devenir concrescentes dès la base, subir conjointement le même morcellement de leurs faisceaux, en sorte qu'à l'anomalie des Lycopodinées se joint celle qui caractérise les tubercules des Ophrydées. Les deux anomalies se combinent et se modifient réciproquement, de façon qu'à première vue on croirait qu'il s'agit d'une disposition sans précédent. Nous allons revenir sur les observations sur lesquelles reposent ces conclusions.

Pour compléter l'historique, il nous reste à mentionner l'opinion de Van Tieghem et Douliot (22) qui s'occupent tout spécialement de ce point de l'anatomie des tubercules. Ces observateurs s'éloignent notablement de la description de Cornu et de la nôtre. Chaque

cordon conducteur se composerait « d'un péricycle unisérié, de deux faisceaux ligneux qui confluent souvent au centre en une bande diamétrale et de deux faisceaux libériens alternes. En un mot, chacun d'eux est un cylindre central binaire de racine. » Nous ne contestons pas la possibilité de la coexistence de plusieurs cylindres binaires à un même niveau du tubercule, puisque souvent plusieurs radicelles concourent à former cet organe. Nous indiquerons aussi une différenciation secondaire qui donne lieu à une apparence analogue en rendant concentriques ou bicollatéraux des faisceaux tout d'abord collatéraux. Van Tieghem et Douliot ont aussi rencontré, comme Schindler ([36]) auparavant, « de petits tubercules plus grêles que les autres, qui ne possèdent dans toute leur longueur qu'un seul cylindre central axile, qui sont simplement des radicelles ordinaires à écorce renflée et à croissance limitée ». Il n'est pas impossible que plusieurs cylindres indivis de cette nature se trouvent associés dans un même renflement ; mais nous n'en avons pas vu. Les sources de concrescence sont plus étendues que ne l'indiquent les auteurs de cet intéressant mémoire, car ils n'ont pas observé le cas si fréquent, déjà connu d'Eriksson ([23]), dans lequel le tubercule, placé en face d'une bande libérienne, englobe plusieurs radicelles insérées de part et d'autre ; ils ont seulement vu pénétrer dans un seul tubercule les cylindres centraux de 2, 3, 4 radicelles insérées vis-à-vis du même cordon ligneux de la racine mère, disposition bien visible sur une figure de Cornu ([17]).

Les dichotomies des cordons libéro-ligneux binaires nous ont constamment paru produire un simple faisceau libéro-ligneux collatéral inverse, c'est-à-dire avec le bois en dehors, le liber en dedans, disposition des plus nettes dans les tubercules volumineux comme dans les plus grêles, pourvu qu'ils soient suffisamment jeunes. Si d'ailleurs cette dernière disposition n'avait pas tout d'abord paru à Van Tieghem et Douliot digne du même intérêt que la précédente, elle n'avait pas, bien entendu, échappé à leur œil exercé, comme on peut en juger par une note ajoutée au texte de leur mémoire et conçue en ces termes : « Çà et là l'un des deux faisceaux libériens ou l'un des deux faisceaux ligneux fait défaut. Mais cet appauvrissement se rencontre aussi ailleurs dans les tiges et les racines polystéliques. »

C'est en effet à la structure qu'ils ont désignée sous le nom de *polystélie* que ces botanistes rattachent les organes dont il s'agit ; et par là ils désignent le morcellement d'un cylindre conducteur primitivement unique en un certain nombre de cordons homologues de leur générateur. Cette conception sur la nature morphologique des tubercules des Légumineuses nous paraît difficile à concilier avec nos propres observations. Elle ne serait certainement applicable qu'à un petit nombre de cas particuliers.

Anatomie. — Dans le cas le plus simple (fig. 3), le système conducteur d'un tubercule présente vers l'insertion les caractères habituels des radicelles binaires. Les vaisseaux forment deux groupes centripètes opposés, souvent réunis au centre en une bande diamétrale, située dans le plan de l'axe de la racine mère, ce qui est, comme on sait, la règle pour les phanérogames. Le liber forme deux îlots situés de part et d'autre et pourvus assez souvent de fibres en dehors des éléments mous. Une seule assise de cellules péricycliques enveloppe le tissu libéro-ligneux et se trouve elle-même encadrée par la couche corticale interne différenciée en endoderme. En un mot, nous y voyons la structure typique de ce qu'on appelle vulgairement un *cylindre central.*

Cette locution est tombée en discrédit depuis que l'on connaît divers organes où plusieurs cylindres coexistent et par conséquent ne sont pas centraux, et d'autres où le système désigné sous ce nom n'est pas cylindrique, dans les pétioles principalement. Elle avait le tort bien plus sérieux encore de confondre des systèmes dépourvus de toute homologie, comme le sont les groupes conducteurs de la tige, de la feuille, de la racine. Toutefois, le terme cylindre central, exprimant sans aucune prétention scientifique une apparence saillante, continue à être employé dans le langage courant, de même qu'on appelle cellule une masse protoplasmique dépourvue de cavité intérieure. Le mot stèle, plus court, plus élégant, ne présente pas non plus la précision qui convient au langage anatomique et, pour le même motif qu'on a désigné sous deux noms différents les portions de la coiffe radicale, suivant qu'elles appartiennent au membre générateur ou à la jeune racine, il est indispensable de donner un nom distinct au cylindre central de chaque type de membre. Or ce

qui caractérise le groupement des tissus conducteurs dans la tige et dans la racine, c'est moins leur confluence en une colonne unique que leur disposition cyclique autour de l'axe. Il existe en effet des tiges (*Equisetum limosum, Hydrocotyle bonariensis,* etc.), où les faisceaux, parfaitement indépendants, astéliques, comme disent Van Tieghem et Douliot, possèdent pourtant la même disposition en cercle que ceux qui entrent dans le cylindre central le plus typique. C'est ce qui nous a engagé à appliquer les termes de rhizocycle et de cladocycle aux systèmes conducteurs de la racine et de la tige. Nous pouvons donc dire que le tubercule simple possède à la base un *rhizocycle monostélique.*

Ce rhizocycle ne tarde pas à se bifurquer, dès qu'il pénètre dans la zone élargie. Les deux cordons vasculaires s'écartent l'un de l'autre, l'un en haut, l'autre en bas ; les deux bandes libériennes se divisent et la moitié de chacune d'elles est entraînée par le groupe ligneux correspondant. Les deux demi-cordons libériens qui escortent chaque cordon ligneux ne conservent pas leur situation latérale, mais se rejoignent sur la face ventrale, c'est-à-dire en arrière des vaisseaux et reconstituent un îlot libérien unique et symétrique par rapport à un plan. Le péricycle et l'endoderme, entraînés de même par les éléments conducteurs, se referment en arrière et l'on a ainsi, au lieu d'un cylindre, deux cordons libéro-ligneux qui, considérés isolément, présentent, comme les faisceaux collatéraux des tiges, du bois d'un côté, du tissu cribreux de l'autre. On voit de plus que, comme dans les faisceaux de tiges, la différenciation des vaisseaux a progressé dans la direction du liber. Cette première phase du phénomène est identique à ce qui se passe dans la division dichotomique d'un rhizocycle binaire de Lycopode.

Tantôt la surface de contact du bois et du liber est plane, tantôt elle est plus ou moins incurvée et le liber prend la forme d'un croissant très épais du côté interne, embrassant entre ses pointes atténuées les portions latérales du corps ligneux ; mais les pointes effilées laissent à nu et en contact direct avec le péricycle les vaisseaux les plus extérieurs et les plus petits.

Continuant leur course dans la région renflée, les faisceaux vont encore se dédoubler à plusieurs reprises suivant leur plan de symé-

trie et s'écarter l'un de l'autre parallèlement au pourtour, de manière à demeurer toujours superficiels. Comme, d'autre part, le nombre des éléments de chaque faisceau diminue à chaque bifurcation, bien que la somme des vaisseaux et du liber augmente un peu, l'épaississement du tubercule est dû principalement au tissu parenchymateux (fig. 4).

Les faisceaux s'organisent aux dépens du méristème en progression basifuge. Si le tubercule est très jeune, ils font défaut sur une grande étendue, tandis qu'ultérieurement ils ne manquent qu'à l'extrême pointe. Plus bas, on les trouve indiqués déjà à l'état de procambium revêtu par un endoderme. Quand on se rapproche de l'insertion, ils sont complètement organisés, mais parfois munis d'un arc générateur entre le bois et le liber. En tenant compte de ces deux conditions : dichotomies successives de la base à la pointe et différenciation de plus en plus avancée de la pointe à la base, on conçoit aisément que, suivant l'âge et le degré d'organisation du tubercule, les faisceaux paraîtront de plus en plus nombreux sur une série de coupes transversales pratiquées à partir de l'insertion, ou au contraire deviendront de plus en plus rares comme l'a observé de Vries ([70]).

Les nouvelles branches des faisceaux s'étalent à une profondeur constante, séparées par des intervalles sensiblement égaux ; elles présentent une orientation uniforme et telle que leurs plans de symétrie viennent tous se couper sur l'axe de l'organe : nous sommes donc en présence d'une disposition *cyclique* parfaitement caractérisée, bien qu'astélique. Une coupe pratiquée dans la région moyenne du tubercule (fig. 4) diffère d'une section transversale de tige d'*Equisetum limosum* par ce seul fait, que l'orientation des faisceaux est inverse. Ce caractère permet de distinguer les tubercules des tiges astéliques. Le type ainsi défini anatomiquement est-il aussi irréductible à celui de la racine ? Nous ne le croyons pas. La façon même dont l'aberration s'effectue fournit les indications les plus nettes sur son origine et sa nature.

Interprétation morphologique des caractères des faisceaux. — Les îlots libériens, alternes avec les bandes ligneuses au niveau de l'insertion, sont dédoublés un peu plus loin. Puis, dès qu'ils pénè-

trent dans la région large, ils se conjuguent de nouveau, mais de telle façon que les nouveaux îlots soient formés par moitié par des îlots primitivement distincts. Entre les deux régions, il n'y a qu'une différence essentielle, c'est que dans la première les faisceaux confluent en une stèle étroite, axile et dépourvue de parenchyme central, ce qui est le cas des racines ordinaires et que dans l'autre il existe vers l'axe un amas de cellules spéciales, qui en refoule les faisceaux et qui mérite le nom de moelle au même titre que le parenchyme central des tiges à endoderme discontinu. Dans ce dernier cas, les faisceaux ont, comme dans la tige où l'existence d'une moelle est constante dès le début, la place suffisante pour se développer à l'aise sans empiéter l'un sur l'autre; nous avons donc une structure peu commune dans laquelle les faisceaux de la racine sont directement comparables à ceux de la tige. N'est-il pas remarquable qu'ils en aient exactement la structure, mais avec l'orientation inverse? (Fig. 5, 6.)

Si d'autre part nous considérons avec quelle facilité les faisceaux libériens ont été disloqués, puis recombinés avec des parties hétérogènes pour suivre les variations des tissus avoisinants, nous serons forcés d'avouer que leur disposition est beaucoup moins instructive, beaucoup moins constante que celle du bois et doit être subordonnée à celle des vaisseaux dans la définition des membres.

Il ressort de là une différence essentielle entre la tige et la racine. Dans la structure primaire et normale de la tige, le bois est séparé de l'écorce par du liber; dans la structure primaire et normale de la racine, on ne voit pas de liber entre le bois et l'écorce. On connaît plusieurs cas où le péricycle lui-même disparaît en face des vaisseaux de la racine.

Les groupes libériens sont intimement annexés aux groupes ligneux dans la racine comme dans la tige et placés sous leur dépendance et il n'est pas nécessaire d'y voir des faisceaux distincts. Seulement deux cas peuvent se présenter au point de vue de leur répartition et dans les deux on reconnaît que, subordonnés aux vaisseaux, ils sont relégués à la place laissée par ces derniers, dont les relations avec l'écorce sont invariables à la période primaire. Dans le cas le plus fréquent, l'appareil de soutien des racines se concentre vers

l'axe. Il serait difficile de dire s'il y a là une disposition primitive ou secondaire ; en tous cas, elle est parfaitement adaptée aux conditions biologiques du membre. Si nous envisageons les différences qui s'observent entre les tiges d'un même individu, suivant les conditions diverses auxquelles chacune d'elles est adaptée, nous constaterons facilement une semblable confluence vers l'axe du système mécanique dans les souches et les rhizomes, tandis que dans les portions dressées et surtout dans certaines hampes florales les faisceaux s'écartent énormément et souvent même des éléments scléreux corticaux sont le principal tissu de soutien, la moelle, d'abord dilatée, finissant par disparaître entièrement. En un mot, les parties aériennes et dressées tendent à devenir des colonnes creuses ; les parties souterraines, rampantes ou plongeantes, tendent à constituer des colonnes pleines. De telles tendances, manifestes dans les tiges, sont singulièrement exagérées dans les racines, chez qui l'habitat souterrain et le géotropisme positif sont de règle. On sait aussi que le milieu souterrain entrave le développement du stéréome, en sorte que les vaisseaux constituent dans les racines la partie principale de l'appareil mécanique. Dans ces conditions, la plasticité des cordons libériens n'opposant pas grande résistance à la tendance des vaisseaux à se concentrer sur l'axe, la disposition dans laquelle les groupes libériens liés à chaque groupe vasculaire sont refoulés latéralement est évidemment la seule qui ait pu persister. L'étroitesse de l'espace laissé libre par les vaisseaux réunis en un cordon stelliforme entraînait aussi nécessairement la fusion des groupes libériens dépendant de deux bandes vasculaires voisines, de même que dans le houblon et bien d'autres plantes on voit deux stipules concrescentes en une languette unique dont chaque moitié se rattache à une feuille distincte, quand l'espace interpétiolaire trop restreint ne permet pas à deux stipules de s'étaler librement.

Cette subordination du liber au bois dans la racine ressort de ce fait que, chaque fois qu'un groupe ligneux devient indépendant, les demi-îlots libériens contigus l'accompagnent ; et dès que ceux-ci ont la place nécessaire, ils se rejoignent en un groupe libérien comme dans un faisceau collatéral de tige. Cette dernière particularité n'est pas limitée aux Légumineuses. Cette famille est, il est vrai, la seule

connue dans laquelle la formation d'une sorte de moelle mette au large les faisceaux de la racine; mais le même résultat est atteint chez les Lycopodinées par une voie différente. La racine s'y disloque entièrement par bipartitions répétées et chaque faisceau se trouve ainsi, au moment où une racine binaire se dichotomise, isolé dans une masse de parenchyme. Ici comme dans les plantes qui nous occupent, les demi-groupes libériens se réunissent du côté de l'axe de la racine et constituent des faisceaux collatéraux inverses comme chez les Légumineuses. Ce même type est donc réalisé chez des plantes très éloignées et dans les deux cas où les bois non concrescents permettent à tout le système conducteur de s'étaler sans entraves.

Il serait intéressant de savoir si la disposition primitive du rhizocycle est la disposition rayonnée d'où les faisceaux collatéraux à liber interne dériveraient par une dissociation liée à la présence d'une moelle ou à des bifurcations répétées du membre, ou si ce n'est pas plutôt la disposition habituelle de la racine qui résulte d'une concrescence de faisceaux collatéraux. D'après la facilité avec laquelle le type à faisceaux collatéraux se produit dans un groupe aussi inférieur que les Lycopodinées, il est assez vraisemblable qu'il ait existé déjà dans les formes d'où dérivent les plantes vasculaires actuelles. Il est même remarquable que plusieurs ophioglosses, des lycopodes ne présentent pas de vrais rhizocycles, mais de simples faisceaux pourvus d'une bande ligneuse et d'une bande libérienne.

Mais, d'un autre côté, Bertrand a montré des transitions très nettes entre la structure radiée et la disposition cyclique dans les tiges de plusieurs cryptogames vasculaires. Les données de l'anatomie comparée et de la paléontologie ne sont pas suffisantes pour démontrer quel est le type primitif et quel est le type dérivé dans la disposition actuelle des faisceaux de la tige et de la racine des plantes supérieures. La constatation du passage de l'un à l'autre dans quelques groupes isolés ne permet pas de décider si l'on assiste à une transformation devenue désormais constante ou bien au retour à un type ancestral. C'est là une question d'appréciation qui variera avec les auteurs. Ce qui nous importe, et nous pouvons être affirmatif sur ce point, c'est que, dans la racine comme dans la tige, les types à faisceaux collatéraux isolés et les types à faisceaux confluents et même à bois

stelliforme rapproché de l'axe sont parfaitement réductibles l'un à l'autre. Nous pouvons donc en conclure que le groupement des éléments conducteurs observé sur une coupe moyenne de tubercule d'une Légumineuse, caractérise un rhizocycle, mais un *rhizocycle astélique*. Aucun doute ne peut subsister sur la nature radicale de cet organe, la morphologie interne confirmant les données de l'organogénie.

Faisceaux dans les racines agrégées. — Quand plusieurs radicelles concourent à l'édification d'un tubercule, les coupes pratiquées à la base montrent autant de rhizocycles juxtaposés, dont chacun possède encore son individualité. Dès qu'ils pénètrent dans la région renflée, les rhizocycles se dichotomisent à plusieurs reprises comme dans le premier cas. Mais les faisceaux issus d'un même cylindre, au lieu de conserver entre eux la disposition cyclique, prennent place successivement dans un cercle plus vaste et unique comprenant tous les cordons conducteurs étalés à une distance uniforme de la périphérie. Dans la région moyenne, tous ces faisceaux constituent un rhizocycle astélique unique, homologue de celui des tubercules formés d'une seule radicelle. Seulement il n'est pas isologue de ce dernier, puisque l'unité nouvelle se compose de plusieurs éléments équivalents chacun au rhizocycle entier de celui-ci. En un mot, nous avons affaire à une *racine agrégée,* dont l'origine est identique à celle des bourgeons agrégés des pétasites (voyez notre *Tige des Composées,* 1884), des Ombellifères, etc. On sait que, dans ces plantes, plusieurs unités gemmaires sont distinctes au niveau de leur insertion, comme si, de l'aisselle de la feuille embrassante, devait se détacher un verticille de branches. Et en effet, dans les verticilles ombellaires, les cladocycles correspondants se rendent dans autant de rayons. Mais, au niveau des feuilles végétatives, tous ces petits cylindres, formés en face de nervures multiples de la feuille, convergent vers le bourgeon médian, intercalant leurs faisceaux entre les siens et constituent un cladocycle unique, homologue, mais non isologue des rayons de l'ombelle. C'est ce même retour à l'unité morphologique que nous constatons dans la combinaison par agrégation de plusieurs radicelles dans un tubercule de Légumineuse.

Les gros tubercules de *Vicia sepium* nous ont offert une particu-

larité intéressante. Dans un cas où deux radicelles concrescentes formaient un renflement ovoïde allongé, légèrement stipité, une coupe transversale pratiquée dans la région moyenne révélait la disposition cyclique, astélique des faisceaux inverses. Mais en remontant vers l'insertion du membre, tous les faisceaux se réunissaient progressivement, en sorte qu'au niveau du rétrécissement ils étaient réduits à deux, ayant un bois très volumineux en dehors et un liber en fer à cheval, entremêlé de fibres et entourant la face interne et les côtés du groupe vasculaire. Au niveau de l'insertion, chacun de ces faisceaux était de nouveau dissocié suivant le plan de symétrie et deux rhizocycles binaires à bois parallèles se raccordaient à deux bandes vasculaires de la racine et à trois bandes libériennes. Ainsi les deux groupes vasculaires supérieurs avec les groupes libériens correspondants s'étaient unis en un seul faisceau collatéral; les deux faisceaux inférieurs s'étaient comportés de même. L'agrégation de deux racines binaires en une seule racine binaire astélique s'était donc réalisée avant que les faisceaux se fussent dissociés en un cercle plus complexe.

Faisceaux dans les tubercules ramifiés. — Quand les tubercules présentent à leur extrémité des digitations ou des ramifications plus complexes, les faisceaux se partagent entre ces branches. Ceux qui regardent la face externe se continuent directement dans les dichotomies; ceux qui arrivent au voisinage du plan de séparation se comportent diversement. Tantôt ils se rendent dans un des lobes, tantôt ils se bifurquent pour donner une branche à chaque portion. Quelques-uns s'incurvent brusquement pour venir compléter le cercle et sur les coupes pratiquées au-dessous de la séparation on distingue des cordons conducteurs qui, à première vue, semblent disséminés sans ordre dans l'intérieur de la masse médullaire. Ces faisceaux obliques s'anastomosent parfois avec d'autres qui viennent de la face opposée et de ces points de jonction partent de nouvelles divisions. La manière dont se comportent ces faisceaux rappelle ce que nous montrent certaines feuilles composées à la naissance des pétioles secondaires. De tout cela il résulte que le rhizocycle unique s'est bifurqué en plusieurs cylindres dont chacun se rend dans une digitation. C'est un procédé comparable à la polystélie des tiges, mais dans ce cas

encore ce terme n'est guère applicable, puisque la structure astélique se retrouve dans chaque nouveau cycle fasciculaire. Le rhizocycle est devenu polycyclique sans cesser d'être astélique.

Structure secondaire des faisceaux. — On n'a pas décrit jusqu'ici de formations secondaires dans les faisceaux des tubercules, ou plutôt elles ont été prises pour des éléments de la structure primaire, ce qui n'a pas peu contribué à compliquer les théories émises au sujet de la nature de ces organes. Sur les faisceaux jeunes (fig. 5), on rencontre fréquemment une couche génératrice de 2-3 assises de cellules entre les vaisseaux et le liber. Elle peut se borner à donner un peu de tissu cribreux et quelques nouveaux vaisseaux après que le procambium a fini de s'organiser. Dans les gros faisceaux à liber semi-lunaire, le cambium est aussi disposé en croissant. La production du liber secondaire devient même prédominante vers les pointes. Puis le péricycle situé en dehors des plus vieilles trachées se segmente ; ses assises internes donnent naissance à de petits îlots de tubes cribreux et les faisceaux deviennent concentriques. Nous avons vu parfois le péricycle former du liber en dehors sans que l'assise génératrice interne ait fonctionné. On obtient ainsi des faisceaux bicollatéraux qui simulent assez bien un rhizocycle binaire, bien qu'un seul des deux îlots libériens appartienne à la structure primaire. Celui-ci est généralement le seul qui présente des fibres libériennes, dans les couches les plus éloignées du bois. Les formations secondaires sont parfois assez précoces. Sur de jeunes tubercules très vigoureux de *Vicia sepium* de l'année, recueillis au mois de mai, nous avons trouvé, parmi une dizaine de faisceaux collatéraux inverses, un faisceau qui, outre le liber interne muni de grosses fibres, présentait en dehors un petit îlot de tubes cribreux sans fibres ; mais ce tissu secondaire très apparent sur les coupes équatoriales, s'amincissait à mesure qu'on approchait de la racine mère et disparaissait bien loin du niveau d'insertion, où tous les faisceaux avaient repris l'aspect primaire.

Ainsi les faisceaux collatéraux inverses des tubercules peuvent simuler des faisceaux bicollatéraux ou concentriques, comme cela se présente si souvent dans les faisceaux directs disséminés dans le parenchyme fondamental des pédoncules ou des hampes florales ;

mais, contrairement à ce qui s'observe dans les tiges, cette disposition n'est pas primitive. On conçoit d'ailleurs qu'une étude attentive de l'insertion et du développement du tubercule était nécessaire pour éloigner toute confusion entre cette structure et celle d'une racine munie de plusieurs rhizocycles véritables.

Histologie. — La structure même des faisceaux offre peu de variation. Le nombre des vaisseaux atteint souvent 8-10 à la base (fig. 6) et même une trentaine par exemple chez le *Vicia sepium*. Il diminue au cours des bifurcations, se réduit à 2-1 au sommet, et dans le tissu terminal les cordons procambiaux ne présentent plus aucune organisation ligneuse. N'oublions pas que le nombre des vaisseaux varie aussi avec l'âge. Tantôt c'est le bois, tantôt ce sont les tubes cribreux qui disparaissent les premiers ; les plissements endodermiques subsistent beaucoup plus loin que les éléments conducteurs. On constate aisément la dichotomie vraie des cordons ligneux sur des macérations (fig. 10) et l'on trouve ces préparations toutes faites sur les tubercules vidés naturellement. On la reconnaît aussi sur les coupes transversales (fig. 7). Dans ce cas l'écartement progresse de la partie la plus large vers la partie la plus étroite, c'est-à-dire de la périphérie vers l'axe, et les vaisseaux destinés aux deux branches de bifurcation sont séparés avant le liber. Si l'on n'avait soin de comparer les coupes faites à ces niveaux avec la série des coupes qui précèdent et qui suivent, on pourrait croire que l'on a affaire à un rhizocycle binaire. Il est vrai que le liber localisé à la face interne mettrait déjà en garde contre cette confusion. Toujours est-il bon d'en signaler la possibilité, d'autant plus que l'on admet ailleurs l'existence de cylindres de racine, dont le liber est avorté sur une face.

Le liber présente assez souvent, comme dans les racines ordinaires des Papilionacées, des fibres libériennes isolées ou formant des îlots au voisinage du péricycle. Les tubercules des mélilots, des *Dorycnium*, de plusieurs *Vicia*, en offrent de beaux exemples. On ne confondra pas ces cellules prosenchymateuses avec des vaisseaux, car leurs parois épaissies sont cellulosiques et ne se colorent ni par la phloroglucine ni par la fuchsine. Sur les coupes longitudinales ou les dissociations, l'absence des ornements propres aux vaisseaux suffit pour les distinguer.

Le péricycle est simple dans les faisceaux jeunes et étroits; mais il ne conserve pas partout ce caractère, comme l'ont admis Van Tieghem et Douliot ([22]). On y voit apparaître çà et là des cloisons tangentielles (fig. 7, *p*) ou même une division active qui y produit 2-3 assises dans tout le pourtour (fig. 6). On voit nettement dans ce cas le liber distinct des assises périphériques. Le péricycle garde à ses éléments des parois minces avec un contenu protoplasmique très granuleux, où l'on distingue un gros noyau.

L'endoderme différencié au contact du faisceau présente la structure typique : les faces radiales et transverses sont munies de cadres épaissis et subérisés, fortement plissés sur les premières, plans sur les secondes. Le reste des membranes est mince et cellulosique. A la base, l'endoderme du rhizocycle se raccorde avec celui de la racine mère par la différenciation d'une bande de cellules qui traverse le parenchyme et sur laquelle se montre assez souvent le réseau caractéristique. Ailleurs cette assise de raccordement est assez peu nette et Tschirch ([67]) en a nié l'existence chez le lupin. Le contenu des cellules endodermiques ne diffère pas encore de celui des éléments procambiaux qu'elles entourent, ni des cellules méristématiques qu'elles limitent, à une période du stade procambial où les plissements se colorent déjà nettement par la fuchsine et se distinguent à leur épaisseur; plus tard, le suc cellulaire y devient plus abondant que dans le péricycle, les cellules s'allongent bien davantage, en sorte que les coupes passent rarement par le noyau et l'endoderme apparaît comme une assise bien moins opaque que les tissus du faisceau lui-même. Comme l'endoderme de la racine mère, celui des faisceaux du tubercule peut subériser tardivement toutes ses parois. En ce cas, certaines cellules échappent à cette transformation et des éléments perméables grâce à la persistance de la cellulose sur les faces tangentielles restent entremêlés aux cellules protectrices. L'abondance de ces cellules perméables augmente vers le sommet. Tschirch ([67]) a appelé l'attention sur cette particularité.

Dans des tubercules de *Vicia sepium* vidés de leur contenu, sauf au niveau du méristème terminal qui continuait à être alimenté par les faisceaux, Tschirch ([68]) a observé un éclatement de la gaine endodermique du côté externe, phénomène dû sans doute à la prolifera-

tion des tissus du faisceau. Mais dans ce cas le rôle protecteur de l'endoderme est réalisé par un autre procédé, car les cellules parenchymateuses voisines se cloisonnent tangentiellement et constituent un véritable liège en face de l'interruption.

Parenchyme.

Anatomie. — Le parenchyme compose la plus grande masse des tubercules ; il les constitue même entièrement au début, avant que les cordons procambiaux se soient organisés dans son sein. Cet état primordial est si éphémère, qu'il est relativement rare de l'observer. Aussi doit-on croire à une erreur d'observation de la part des auteurs qui, comme Bivona ([3]), Fries ([28]), A. P. de Candolle ([12] et [13]), Clos ([14] et [15]) et Tulasne ([69]), ont vu dans ces organes une simple masse cellulaire.

Nous ne reviendrons pas sur la nécessité de distinguer du parenchyme les tissus appartenant à la racine mère ; nous avons suffisamment fait ressortir, à propos de la poche, les confusions faites sur ce point par les auteurs. De Vries ([70]) est un des premiers botanistes qui ait bien compris la structure du parenchyme et les relations des zones qui s'y rencontrent. A leur état jeune, dit-il, les tubercules du trèfle rouge sont entièrement méristématiques et remplis dans toute leur étendue d'un contenu albuminoïde dense. Leur sommet persiste indéfiniment à cet état ; mais la base ne tarde pas à se différencier. Une couche corticale à petites cellules s'oppose à une couche médullaire à grands éléments. Tréviranus ([64]) avait déjà reconnu cette dernière comme un noyau rougeâtre. Cette teinte, sur des renflements qui sont en pleine période d'évolution est parfois d'un brun foncé ou d'une couleur approchant de celle du jambon fumé.

Prillieux ([53]) nomme « zone amylifère » la couche corticale parcourue par le système conducteur et la distingue avec soin de la couche subéreuse correspondant à la poche et il appelle cellules spéciales les éléments de la masse centrale.

Tschirch ([67] et [68]) a insisté sur ce fait que, dans certaines espèces comme le *Vicia sepium* et le *Robinia,* les tubercules se vident chaque année en automne à l'époque de la maturité des fruits, mais ne

périssent pas pour cela. Le méristème, relié à la racine mère par les faisceaux protégés par leur endoderme, reste vivant et continue à croître; la croissance se localise souvent en plusieurs points, en sorte que le tubercule est surmonté de digitations. Il est bon de noter cette disparition du parenchyme dans les tubercules vivants, car l'absence de cavité intérieure avait été signalée par Cornu ([17]) comme un caractère permettant de distinguer à première vue un tubercule de Légumineuse d'une galle de *Phylloxera*. Au reste, il y a trop d'autres propriétés saillantes opposant entre eux ces deux ordres de formations pour que l'on puisse regretter l'infidélité de celle-ci.

Au point de vue purement anatomique, il y a peu de chose à ajouter à ces descriptions. Toutefois, on n'attribuera pas une trop haute importance morphologique à la division du parenchyme en zones distinctes sur laquelle insistent la plupart des auteurs. Ces zones n'ont pas en effet la valeur de régions anatomiques définies; elles sont produites dans une masse commune au début; leurs limites ne sont pas absolument régulières et varient aux divers stades du développement. Comme on a pu le remarquer, elles ont été généralement caractérisées par la nature du contenu des cellules. Or c'est là le criterium le moins fidèle, car de profondes transformations s'opèrent à cet égard. Aussi, tandis que Prillieux ([53]) nomme zone amylifère la couche enveloppante, Cornu ([17]) déclare que, si l'on était embarrassé pour discerner un tubercule de Légumineuse d'une excroissance de vigne phylloxérée, « le caractère différentiel qu'il faudrait rechercher immédiatement, c'est la présence de l'amidon, qui est situé principalement dans la zone corticale chez les renflements phylloxériques; chez les nodosités des Légumineuses, cette zone en est dépourvue ». On pourrait penser que l'opinion de Cornu tient à ce que cet observateur appelait zone corticale la poche provenant de la racine mère. Cette région elle-même n'échappe pas à la variabilité qui caractérise les tissus propres de la radicelle tuberculeuse, car elle est sur certains renflements jeunes, par exemple ceux du *Vicia sepium* au printemps, bourrée d'un contenu amylacé. Lecomte ([39]) d'autre part, ayant rencontré des tubercules sur les rhizomes, assure que, « si l'on examine les coupes sans enlever l'amidon, on constate que les tubercules n'en contiennent pas, tandis que la tige sur laquelle ils

sont insérés en renferme beaucoup ». Si les tubercules en question sont de même nature que ceux des racines, il est certain que l'état observé par Lecomte était transitoire. Il est donc indispensable de suivre les tubercules à leurs différents âges et de décrire les aspects successifs que revêt leur parenchyme.

Si nous pratiquons une coupe dans un jeune pivot de *Melilotus officinalis,* de manière à passer par l'axe d'un tubercule naissant, déterminant un léger soulèvement de l'écorce qui le recouvre, nous voyons une masse de cellules issue d'un cloisonnement répété des éléments du péricycle. Leur contenu est entièrement albuminoïde ou pour mieux dire protoplasmique. Pourtant ce tissu embryonnaire diffère déjà beaucoup des méristèmes ordinaires. L'action excitante du cryptogame qui l'habite a provoqué dans un certain nombre d'éléments une organisation que l'on n'est pas accoutumé à rencontrer dans les organes végétatifs ordinaires et qui est caractérisée par la remarquable densité du cytoplasme et par la grande taille du noyau. Ces éléments, que nous appellerons désormais avec Prillieux ([53]) les *cellules spéciales,* rappellent d'une façon saisissante les cellules jeunes de l'albumen des graines et mieux encore les cellules mères des grains de pollen. Elles forment d'abord une masse compacte, entourée de cellules ordinaires dont la puissance varie suivant les plantes.

Dans le mélilot et dans la plupart des autres espèces, les cellules ordinaires forment au sommet une zone étendue ; dans d'autres, le *Galega officinalis* par exemple, elles se réduisent à une seule assise rarement cloisonnée ; c'est le méristème terminal des auteurs. Ce tissu se prolonge sur les côtés par un revêtement toujours étroit, ne différant en rien de l'enveloppe terminale dans le type du *Galega* (fig. 21, *p*), mais subissant plus tard des transformations dans diverses Légumineuses. Enfin, à la base, ce tissu ordinaire acquiert une grande puissance, en sorte que les cellules spéciales sont séparées du bois de la racine, indépendamment du raccordement endodermique, par un nombre considérable d'éléments rappelant les parenchymes jeunes des racines normales.

Pendant la première période que nous envisageons jusqu'ici, les cellules ordinaires, comme les cellules spéciales, ont un contenu

purement protoplasmique. Les unes et les autres se divisent abondamment, en sorte qu'il n'y a pas lieu d'envisager la zone terminale comme exclusivement réservée au rôle des méristèmes. D'autre part, les limites entre les deux sortes d'éléments ne sont pas tranchées; à leurs confins on rencontre des cellules à contenu médiocrement opaque et à noyau intermédiaire par sa taille à ceux des types extrêmes. Quelques cellules de parenchyme ordinaire s'intercalent entre les cellules spéciales, en sorte qu'au début même, on ne saurait dire au juste où commencent et où finissent les zones désignées sous les noms de parenchyme extérieur et intérieur. Cette confusion ne fera que s'accentuer plus tard, car certaines cellules spéciales perdront leurs caractères propres, qui seront revêtus par des éléments jusque-là indifférents.

Dans certains tubercules volumineux comme ceux du *Vicia sepium*, les éléments les plus internes perdent de bonne heure leur nature spéciale, prennent un contenu clair, souvent riche en amidon et se distinguent à l'œil nu, comme une sorte de moelle translucide dans l'axe de la moelle opaque.

A côté de ces variations, il y a un point plus constant dans la répartition des éléments du parenchyme, c'est que les cellules spéciales bien caractérisées ne s'étendent pas en dehors du cercle des faisceaux. Il y a donc une zone, correspondant au parenchyme externe (sens restreint) au procambium des auteurs, au sein de laquelle sont plongés les faisceaux et qui est dépourvue de cellules spéciales. Ses limites, abstraction faite de leur légère inconstance, sont sinueuses, car elles présentent une dépression au niveau de chaque cordon conducteur. Cette assise a bien certainement l'apparence d'une écorce; elle en a peut-être la signification physiologique ; mais, remarquons-le bien, les faisceaux s'y enfoncent au lieu d'être, comme disait de Vries ([70]), situés à la limite des deux régions. Dans un sens strictement anatomique, ce n'est pas une écorce opposée à une moelle; le tissu cortical et le tissu médullaire ne sont ici que deux modes d'organisation du parenchyme général. Au reste, la distinction entre une écorce et une moelle n'est pas mieux accusée dans les tiges astéliques. Une moelle vraie n'est autre chose qu'une portion de parenchyme séparée de l'écorce par inclusion, grâce à la concrescence

latérale des faisceaux en un cylindre central. Nous n'avons pas à nous occuper ici des fausses moelles qui résultent, par exemple dans bon nombre de racines volumineuses, de la dissociation des éléments conducteurs typiquement confluents en un rhizocycle compacte.

Dans les tiges ordinaires où les deux portions du parenchyme sont séparées par un endoderme continu autour d'un cylindre conducteur, on comprend que, malgré leur homologie, elles répondent aux influences histogénétiques si différentes auxquelles chacune d'elles est soumise et prennent des caractères très distincts. Ici une différenciation analogue s'opère entre les deux portions du parenchyme qui répondent par leurs rapports et leur situation, d'une part à la moelle, de l'autre à l'écorce. Ce fait est d'autant plus intéressant qu'il n'y a plus de limite anatomique entre les deux zones et qu'au niveau du contact les éléments se laissent entraîner par l'adaptation qui, suivant l'époque, les annexera à la portion externe ou à la portion interne. Il y a en somme dans le parenchyme une différenciation histologique en tissu cortical et tissu médullaire préexistant à la limitation anatomique des deux régions correspondantes.

Histologie. — Les cellules ordinaires du parenchyme, notamment celles du tissu terminal comparé à un méristème, présentent, comme l'ont déjà indiqué de Vries (70) et Frank (24), les particularités ordinaires d'un point de végétation. Les parois sont minces, le cytoplasme entremêlé de vacuoles; le noyau est assez volumineux pour occuper longtemps le milieu de l'élément, sans être refoulé par le suc dans la couche pariétale. La dimension du noyau suffit souvent pour opposer ces cellules à celles de la poche, car elle atteint, suivant les espèces, 6, 8, 9 μ, tandis que les noyaux de l'enveloppe constituée par la racine mère gardent le plus souvent une petite taille, 4 μ par exemple. Toutefois, ces différences ne sont pas absolues et n'ont pas la même importance que les caractères d'ordre anatomique. La production de l'amidon n'y offre rien de particulier.

Schindler (56) signale des cristaux d'oxalate de chaux dans la zone corticale des tubercules de *Phaseolus vulgaris* et *Anthyllis Vulneraria*. Tschirch (67) a observé des bâtonnets de la même substance, enveloppés d'un revêtement cellulosique adhérant à la membrane cellulaire, chez les *Robinia*, dans tout le tissu où sont plongés les

faisceaux. Le même auteur figure dans la même région, chez le lupin, des cellules dont les parois ont subi un notable épaississement collenchymateux.

Cellules spéciales. — Les cellules spéciales une fois bien différenciées, se distinguent par la membrane, le noyau et le cytoplasme. La membrane, purement cellulosique, est assez épaisse et fenêtrée (fig. 27) d'espaces minces et insensibles au chloro-iodure de zinc, eux-mêmes traversés en tous sens par des barreaux moins fortement développés que le fond même; la perméabilité est ainsi assurée aussi bien que la solidité.

Le noyau (fig. 11) se distingue par son volume qui atteint communément 18 μ et parfois jusqu'à 25 μ dans sa plus grande dimension. Sa structure répond d'ailleurs à l'organisation la plus typique du caryoplasme. On y distingue aisément de nombreux bâtonnets chromatiques sensibles à l'hématoxyline, au vert de méthyle, etc. (*a*), et un nucléole très volumineux (*b*), brillant, nettement limité et paraissant, après traitement par l'acide picrique, muni d'un double contour. Il atteint les plus fortes proportions dans les éléments jeunes (fig. 30), par exemple 4 μ dans des noyaux qui en mesurent 12; il s'élève jusqu'à près de 5 μ dans les éléments entièrement évolués. On y voit souvent un nucléolule. Ces magnifiques éléments n'ont guère d'analogue que dans les cellules génératrices. On pourrait être surpris qu'ils aient été méconnus par divers auteurs, à moins que leur rare beauté suffise à expliquer qu'on n'ait pu s'attendre à les trouver tels dans des productions considérées comme morbides.

C'est ainsi que Woronin ([77]) signale, à côté des éléments du cytoplasme dont nous parlerons plus loin, « un corps beaucoup plus volumineux, qui rappelle quelquefois un nucléus de cellule bien déterminé, mais dont la forme la plus ordinaire est celle d'une étoile irrégulière à contours indécis. On dirait que ce corps émet dans tous les sens des processus mucilagineux. La nature morphologique et la signification de ce corps, ajoute l'auteur, me sont restées inexplicables .» On se demandera d'abord si Woronin n'employait pas de réactifs capables de contracter et de déformer le noyau. Mais il faut songer aussi à une difficulté d'observation résultant de la densité du cytoplasme. Si l'on se reporte à la figure de Woronin, et

qu'on la compare à des coupes un peu épaisses examinées sans le secours d'aucun réactif colorant ou éclaircissant, il devient évident que les bords du noyau étaient masqués par le cytoplasme inversement proportionnel en épaisseur au noyau qu'il sépare de l'œil de l'observateur.

Prillieux ([53]) a donné une autre interprétation de l'opinion de Woronin. Il pense que les corps nucléiformes en question seraient identiques à des renflements observés sur des cordons muqueux qui traversent les cellules. Nous aurons à revenir sur ces cordons et leurs renflements qui appartiennent à un champignon; mais les figures données par Woronin ne nous laissent aucun doute sur leur identité avec les noyaux. Prillieux d'ailleurs ne s'est pas occupé de ces derniers éléments.

Frank ([24]) paraît aussi méconnaître le noyau dans les cellules spéciales entièrement développées, et son opinion repose sur la nature parasitaire qu'il attribue aux particules du cytoplasme. Ces corpuscules étrangers finiraient, selon lui, par envahir toute l'étendue de la cellule dans laquelle on distinguait jusque-là, malgré son opacité croissante, le noyau et parfois un suc cellulaire.

Bactéroïdes. — Le cytoplasme ou protoplasma cellulaire est la portion des cellules spéciales qui a le plus attiré l'attention des auteurs, et sa structure a reçu les interprétations les plus différentes. Sur les coupes placées dans l'eau ou dans la plupart des réactifs, il s'en échappe d'innombrables corpuscules qui s'agitent dans le liquide et dont la forme reproduit assez bien celle des *Micrococcus* ou des bacilles.

Woronin ([76]) a le premier fixé sur eux son attention. Pour lui, les corpuscules sont d'abord sphériques, ensuite allongés, ayant 1μ,6 à 2μ,8 de long; ils se colorent en jaune dans l'iode, en jaune plus foncé ou jaune brun dans un mélange d'iode et d'acide sulfurique : « Ils ont, dit-il, la plus grande ressemblance avec ces organismes de nature douteuse, qu'on désigne sous les noms de *Bacterium,* Duj., *Vibrio,* Ehr., *Zooglœa,* Cohn, etc. » Ils se reproduiraient par scissiparité et par gemmation. Eriksson ([23]) ajoute qu'ils ne sont pas toujours simples ou en bâtonnets, mais plus souvent ramifiés en dichotomie ou arrondis aux extrémités. Ce que le botaniste suédois décrit

comme dichotomies répond à ce que Woronin considérait comme un bourgeonnement. Eriksson se prononce pour la nature étrangère de ces corps ; il en fait même de véritables « cellules vibrioniformes » plongées dans les cellules du tubercule. Sorauer ([61]) est du même avis. H. de Vries ([75]) y voit des organismes étrangers introduits tardivement dans les tubercules déjà formés. Cornu ([17]) est disposé à y voir des microorganismes ayant provoqué le renflement. « C'est à l'opinion de Woronin, dit-il, qu'il paraît le plus raisonnable de s'arrêter, quoiqu'un développement monstrueux *sous l'influence* d'une Bactérie soit un fait complètement isolé dans le règne végétal. »

Prillieux ([53]) s'étend plus longuement sur leur compte. « Jamais, dit-il, je n'ai vu les corpuscules présenter nettement la forme tout à fait cylindrique et régulière de *Bacillus;* ils ont au contraire un aspect tout spécial : ce sont de courts filaments offrant des renflements et des rétrécissements successifs plus ou moins marqués et qui, au lieu d'être exactement droits, sont ordinairement un peu courbés, soit dans un sens, soit dans deux sens différents, en forme d'S. Souvent, en outre, ces filaments sont un peu ramifiés ; ils portent une ou deux branches courtes partant du filament principal et ont à peu près la figure d'un X ou d'un Y. Cette apparence singulière ne se produit pas tardivement et seulement après que les mouvements du corpuscule auraient cessé, comme le dit M. Woronin... »

Le savant professeur met aussi en garde contre une confusion possible, résultant de la rapide invasion des tubercules ou des cellules dissociées, macérant dans l'eau, par de véritables bacilles et de véritables vibrions, qu'il ne faut pas confondre avec les corpuscules particuliers du tubercule.

A côté des « corps bactériformes », Prillieux a observé des filaments rameux un peu plus épais, qui lui ont semblé intermédiaires entre ceux-ci et les « cordons muqueux » mentionnés ci-dessus. Il a « obtenu un si grand nombre de préparations où les filaments de plasmodium paraissent se diviser à plusieurs reprises en lobes et se résoudre en corpuscules, qu'il ne peut guère hésiter à admettre que les corpuscules bactériformes sont en réalité nés du plasmodium ».

Frank ([24]) s'est beaucoup occupé des corpuscules qu'il nomme petites cellules bourgeonnantes (*Sprosszellchen*). Il les oppose aux vraies granulations protoplasmiques, dont les rapprochent la petitesse et la situation. Il les considère comme de très petits éléments celluliformes, qui ne se tiennent pas entre eux et qui remplissent comme d'une émulsion le protoplasma des cellules du parenchyme interne, de celles-là surtout qui ne se divisent plus. Il ne faudrait pas se prononcer d'une façon trop absolue sur ce dernier point, car les cellules spéciales révèlent de temps à autre les propriétés génétiques qui ne sauraient faire entièrement défaut à des éléments doués d'une aussi haute vitalité. La théorie qui y voit des organismes autonomes est fondée à la fois, selon Frank, sur leur manière de se comporter vis-à-vis des réactifs chimiques, qui concorderait de tous points avec ce que montrent la plupart des éléments de champignons et sur la forme de ces productions. Celle-ci varie avec la plante nourricière. Les *Zellchen* contenues dans une seule et même cellule ne sont pas égales; mais il existe pour une espèce donnée une forme dominante, caractéristique pour cette espèce. Chez le *Lathyrus pratensis* on voit la forme caractéristique de bourgeons à ramifications dichotomes; les étranglements situés çà et là montrent la façon dont les corpuscules se multiplieraient par gemmation. Leurs dichotomies donnent des aspects variant de la forme d'un fémur à celle d'une étoile à trois rayons. La combinaison de ce mode de dichotomie et des étranglements rend compte, selon Frank, de toutes les formes. Les corpuscules de l'*Orobus tuberosus* ont une épaisseur d'un μ et cette dimension correspond sensiblement à celle des autres Papilionacées. L'aspect plus rameux observé par Frank chez l'*Orobus tuberosus* lui semble révéler mieux encore dans les bâtonnets la nature de Champignons. En tous cas, pour ce botaniste, ces types de croissance et de division ne correspondent certainement pas à ceux des vibrions ou Schizomycètes. L'aspect qui, chez d'autres espèces, telles que les lupins, l'*Ononis repens,* le *Genista germanica,* rappellerait au premier abord des Schizomycètes et plus spécialement des microcoques, se laisserait aisément ramener au même type.

Frank croit aussi remarquer un balancement entre le développe-

ment des *Sprosszellchen* et celui des filaments mycéliens. Dans les cellules spéciales entièrement formées, les hyphes, dit-il, existent encore; seulement ils ne se sont pas accrus dans la même mesure que les cellules de parenchyme; aussi sont-ils très disséminés; de plus, l'opacité du protoplasma ne les laisse pas apercevoir si facilement. Leur développement diminuait donc à mesure que les corpuscules se multipliaient. Cette constatation amène Frank à défendre l'opinion que Prillieux venait d'émettre et dont il ne devait pas encore avoir connaissance.

En avançant que ces deux formes appartiennent à un même organisme, Frank convient qu'il est loin de pouvoir baser sa théorie sur des preuves irréfutables. Il ne lui a pas été possible d'observer directement par des cultures la transformation des hyphes en corpuscules, car il n'a pu constater aucune croissance ultérieure, soit dans les coupes de tubercules, soit dans les cultures sur des matières nutritives inertes. Dans l'eau, les corpuscules ne lui ont pas offert de modifications, même au bout de plusieurs semaines. Dans une goutte d'eau sucrée, il a cru voir des filaments très fins, issus d'une ou des deux extrémités de certaines « cellules bourgeonnantes », les autres restant inaltérées. Au reste, ces prolongements cessaient bientôt de croître et périssaient. Il insiste surtout sur ce fait que, dans certaines cellules à parois restées intactes, et appartenant à la région où le protoplasma n'est pas encore opacifié, on distingue de petits amas de corpuscules autour des hyphes qui traversent la cavité. A ces niveaux mêmes les filaments présentaient des nodosités donnant naissance à des sortes de rameaux plusieurs fois dichotomes, semblant se résoudre en ramuscules très fins. Les bourgeons issus des nodosités deviennent de plus en plus semblables aux corpuscules. Les observations concernant le *Vicia hirsuta* semblent à Frank parler avec une netteté spéciale en faveur de cette opinion. Les hyphes eux-mêmes n'ont pas un diamètre notablement supérieur à celui des corpuscules et, comme on y découvre des étranglements, il n'y a guère de différences entre les deux formations. La plupart des *Sprosszellchen* montrent même une transition marquée vers de plus grands fragments d'hyphes. Tous ces arguments sont bien faibles, l'auteur en convient le premier, et ils

ont bien moins la valeur d'une démonstration que d'une hypothèse basée sur une coïncidence d'aspect extérieur et de situation chez les objets comparés.

Pour Kny ([35]), les corpuscules seraient les spores d'un organisme parasite comparable au *Plasmodiophora Brassicæ,* qui produit chez les Crucifères la maladie connue sous le nom de Hernie.

C'est assez récemment, en 1885, que Brunchorst ([9]) émit une théorie tout opposée à celles qui avaient cours jusqu'alors. Les corpuscules auxquels on attribuait une nature cryptogamique ne sont pour lui que le résultat d'une différenciation du protoplasma dense des jeunes cellules. Pour rappeler leur apparence trompeuse, il les nomme *bactéroïdes.* Les bactéroïdes sont formées d'une substance albuminoïde. Elles diffèrent d'aspect suivant les espèces; elles se modifient avec l'âge; elles se multiplient par fragmentation. Brunchorst a reconnu, chez les cellules spéciales jeunes, une structure finement réticulée dans la couche pariétale du cytoplasme. Ce réseau progresse au point de masquer le noyau dans une masse opaque. A cette période le plasma ne paraît plus avoir de structure réticulée, mais donne l'impression d'une masse de granulations égales et uniformes, étroitement entassées. L'auteur croit assez vraisemblable que ces corpuscules procèdent en réalité du plasma contenu dans les mailles du réseau et qu'ils ont dû être reliés entre eux primitivement, bien qu'ils finissent par être indépendants et libres dans la cavité cellulaire.

Brunchorst affirme que les filaments plus volumineux appartiennent bien à un Champignon, et que les bactéroïdes n'ont rien à faire avec eux. Cette nouvelle interprétation n'embarrassa guère les auteurs qui voyaient dans les corpuscules bacilliformes l'agent des fonctions trophiques spéciales des tubercules. Wigand ([74]) a admis que le protoplasma des êtres élevés peut, dans de certaines conditions, se décomposer en particules douées d'une vitalité propre et possédant les caractères d'organismes inférieurs tels que les Schizomycètes. Cette théorie, qu'il nommait *anamorphose,* n'est qu'une forme particulière de la doctrine des Microzymas de Béchamp. Si une telle individualisation des parties d'une cellule est fort problématique, il est moins difficile d'admettre que les mêmes éléments,

tout en restant sous la dépendance de l'organisme dont ils sont partie intégrante, soient doués de propriétés physiologiques comparables à celles des Microbes, dont ils reproduisent la forme et l'aspect.

Schindler ([57]), après avoir adopté la manière de voir de Woronin et émis l'idée que ces Microbes, vivant en symbiose avec les Légumineuses, transformaient ou fabriquaient des aliments au profit de l'association, se comportant à peu près à la façon des Champignons dans les mycorhizes de Frank, eut connaissance du Mémoire de Brunchorst au moment de livrer son travail à la publicité, et en admit les conclusions. Il lui semble naturel de voir des portions de la racine même différenciées en vue du but auquel devaient concourir, dans sa première hypothèse, des organismes distincts.

Tschirch ([67]), Frank ([27]), Benecke ([1]), Mattirolo et Buscalioni ([11]), Van Tieghem et Douliot ([22]), Lecomte ([39]), se rangent à l'avis de Brunchorst. Tschirch crée pour le parenchyme rempli de ces corpuscules le nom de « tissu bactéroïdien ».

Hellriegel ([32]), sans avoir fait des bactéroïdes une étude spéciale, admet implicitement que ce sont des bactéries, par cet unique motif que ses expériences lui ont révélé la présence d'un agent infectieux et que cet agent *doit* être une bactérie. Wigand ([75]), O. Löhrer ([40]), Mattei ([46]), acceptent aussi la vieille théorie. Lundström cherche à l'appuyer sur une série nouvelle d'arguments. Il insiste sur les variations de la teneur des éléments en amidon aux diverses périodes, dans les portions internes aussi bien que dans les portions externes, contrairement à l'opinion des auteurs qui avaient cru pouvoir caractériser une zone par la présence ou l'absence de ce corps. La comparaison d'un grand nombre de tubercules lui a montré que la quantité d'amidon qui remplit les cellules diminue sensiblement en raison inverse de celle des bactéroïdes, et il pense que les bactéroïdes attaquent elles-mêmes les grains amylacés, les rongent et les creusent de profondes excavations, dans lesquelles elles restent longtemps nichées. Il a même cru remarquer que ces organismes grandissaient au fur et à mesure qu'ils dévoraient l'amidon, car la taille des exemplaires observés oscillait dans de larges limites. Quant à leur forme, elle lui semble peu variée ; les figures qu'il en donne

s'éloignent assez de l'aspect indiqué par la plupart des auteurs : ce sont des sortes de poinçons effilés à un bout, arrondis à l'autre ; parfois le bout renflé est bifurqué.

Chez quelques exemplaires de *Trifolium repens,* apportés par Lundström dans l'appartement au milieu de janvier et laissés quelque temps dans l'eau, les bactéroïdes subirent plusieurs transformations qui parurent à l'auteur dignes d'attention. Dans leur intérieur se formèrent successivement des corpuscules réfringents, qui se colorèrent en rouge-brun par le chloro-iodure de zinc. Les premiers corpuscules se montrèrent à l'extrémité obtuse des bactéroïdes, puis à l'autre et se disposèrent, soit en une rangée, soit en groupes diversement disposés, souvent réunis en bâtonnets. Leur grandeur était variée et augmentait d'une façon très évidente. Finalement, la bactéroïde était toute remplie de semblables granulations et alors la forme extérieure du corpuscule subissait une transformation notable. Maintes cellules étaient pleines de ces boules et l'on pouvait à peine y discerner la moindre trace des bactéroïdes primitives. Bien que ce mode de formation rappelle souvent une production de spores endogènes, l'auteur ne croit pas qu'il s'agisse de spores, attendu qu'il n'a jamais vu germer les granulations, malgré ses recherches multiples. Il y voit plutôt des sortes de plastides de protéine ou de caséine.

Lundström ne se prononce pas positivement sur les relations des filaments mycéliens avec les bactéroïdes. Toutefois, il lui semble bien difficile de refuser à ces derniers la nature de Champignons, vivant en symbiose avec les racines. Pichi ([53]) exprime les mêmes doutes sur les rapports des corpuscules avec les hyphes ; il ne se prononce pas non plus sur la signification des bactéroïdes ; mais il tend visiblement à les considérer comme des organismes autonomes, bien que ses essais de culture aient été aussi peu couronnés de succès que ceux de ses devanciers ; mais il déclare qu'il ne peut voir autre chose que des spores dans les petites sphères qui se produisent dans leur intérieur. Il ne les a pourtant pas vues germer. Pichi n'a pas connu le travail de Lundström, qui réfutait d'avance son opinion en montrant la nature des gouttes arrondies.

Les caractères morphologiques des bactéroïdes indiqués par les

auteurs n'en établissent donc pas la nature cryptogamique. Les propriétés chimiques ne sont pas non plus celles des bactéries; car si l'iode les teint en jaune, si les couleurs d'aniline sont vivement fixées, Tschirch (67) a pu, en se fondant sur la pauvreté relative de ces bactéroïdes en acide sulfurique et sur leur grande richesse en acide phosphorique, rapprocher leur substance du groupe des caséines végétales auquel, on le sait, appartient la légumine, et nous venons de voir que, selon Lundström, ce produit se condense dans certaines circonstances en gouttelettes intérieures. Les bactéroïdes se distinguent aussi par une remarquable résistance aux réactifs les plus énergiques. L'acide sulfurique concentré, l'ammoniaque, la glycérine ne les déforment pas ; l'acide picrique, l'acide osmique, le liquide Kleinenberg, les fixent dans leur forme et dans leurs rapports. L'acide formique les rend transparentes, mais ne les altère pas, car après son action elles gardent la propriété de se colorer dans une solution de fuchsine, d'éosine, etc. En présence de ces derniers réactifs, elles ne fixent pas du tout le vert de méthyle ni le vert d'iode. On peut ainsi obtenir des doubles colorations très instructives. Elles se colorent faiblement dans l'hématoxyline alunée.

La motilité a fourni aussi des arguments en faveur de leur autonomie et leurs déplacements ont été considérés, tantôt comme spontanés, tantôt comme purement moléculaires. Au fond, la solution de cette question n'entraîne peut-être pas de conséquences aussi décisives qu'on se l'est imaginé. Non seulement les Bactériacées sont souvent immobiles, mais on ne songe guère à considérer comme des organismes étrangers les éléments qui, comme les globules blancs du sang, se déplacent d'eux-mêmes le long des parois des vaisseaux et continuent à ramper sur un porte-objet.

Woronin (77) a vu ces corpuscules échappés des cellules et flottant dans l'eau depuis quelque temps s'animer de déplacements qu'il considère comme spontanés. Eriksson (23) a constaté que cette motilité persiste plusieurs jours. Prillieux (53), ayant soumis des corpuscules sortis des cellules spéciales à l'action de l'iode, les a vus se colorer très nettement en jaune, sans que pour cela ils cessassent de se mouvoir comme précédemment. Il en conclut que ces corpuscules ne peuvent être assimilés à des bactéries cylindriques et

douées de locomotilité, tout en réservant son jugement sur l'hypothèse qui regarderait les corpuscules sphériques comme des *Micrococcus* sans mouvement spontané et les filaments ramifiés comme des files de *Micrococcus* unis à la façon des *Torula*.

Frank ([24]), tout en soutenant la nature parasitaire des bactéroïdes, opinion à laquelle il a renoncé dernièrement ([27]), considérait leur mouvement comme moléculaire. Il l'a le premier signalé dans les cellules intactes. Ces déplacements se remarquaient dans les éléments jeunes où les corpuscules étaient peu serrés, tandis que dans les cellules dont le protoplasma en était rempli au point de devenir très opaque, la translation des particules entassées devenait impossible. Brunchorst ([9]), principal promoteur de la doctrine opposée, constate le même mouvement moléculaire produit très activement vers l'époque de la maturation des fruits, c'est-à-dire au moment où les bâtonnets sont sur le point de disparaître.

Lundström ([43]) ne doute pas de la spontanéité du mouvement. Un des arguments sur lesquels il s'appuie est précisément celui qui semblait à Prillieux particulièrement démonstratif en faveur de la thèse opposée : une goutte de chloro-iodure de zinc introduite dans la préparation arrêtait instantanément les corpuscules. Dans leurs déplacements rapides, il les a vus ébranler, culbuter des grains d'amidon dont ils feraient leur proie d'après lui.

En réalité, les mouvements des bactéroïdes sont arrêtés par certains liquides toxiques, respectés par d'autres qui tuent indubitablement les cellules et dans ces derniers ils ne diffèrent pas des mouvements qui ont paru aux auteurs parfaitement spontanés. Ainsi nous les avons constatés sur des bactéroïdes ayant séjourné trois semaines dans une solution saturée de sublimé dans l'alcool absolu. Ce n'est donc pas par leur action physiologique, mais simplement par leurs propriétés physiques que les liquides influent sur la motilité des corpuscules. Il s'agit donc bien de mouvements moléculaires.

Pour établir que les bactéroïdes sont étrangères au tubercule, on a eu recours aussi à un argument négatif : on a soutenu, et Lundström répétait tout récemment cette assertion, qu'un semblable aspect est absolument inconnu en dehors des Cryptogames inférieures.

La valeur d'une telle preuve est déjà contestable ; mais, de plus, la règle ainsi posée souffre plus d'une exception. Les Légumineuses elles-mêmes offrent des bactéroïdes en dehors des tubercules.

Schindler ([56]) a observé, sur des racines d'ordre élevé de trèfle et de vesce cultivés dans l'eau bouillie ou dans la terre calcinée, des excroissances spéciales pourvues d'un cylindre central et non de faisceaux dissociés comme dans les tubercules. L'écorce fortement hypertrophiée était le siège unique de la dilatation, et ses cellules renfermaient presque sans exception des organismes très analogues aux bactéroïdes des tubercules proprement dits et astéliques. Bien des cellules en étaient complètement remplies et présentaient le même aspect que les cellules du parenchyme central des vrais tubercules. Schindler a observé les mêmes déformations sur des exemplaires de *Trifolium pratense, Phaseolus vulgaris* et *Ornithopus sativus,* provenant de la terre ordinaire.

Benecke ([1]), observant l'extrémité des racines, y a observé souvent dans le point végétatif d'innombrables bactéroïdes sans que ces régions eussent d'ailleurs la moindre apparence morbide. Vöchting ([69 bis]) a pu constater ce fait sur les préparations de Benecke.

H. Molisch ([47]), ayant examiné les tiges aplaties d'un certain nombre d'*Epiphyllum,* a trouvé constamment de nombreux îlots disséminés dans l'épiderme et dans le tissu cortical avoisinant, où chaque cellule renfermait généralement un volumineux amas de protéine. Ce corps a sensiblement la forme d'un fuseau droit ou courbé, d'un anneau ou d'un filament pelotonné, très long et mince. Tantôt les fuseaux présentent d'emblée l'aspect définitif, tantôt ils sont formés d'abord de filaments fasciculés à la manière des raphides, qui se fusionnent plus tard. Bien que ces réserves d'albumine ne présentent pas exactement les réactions des bactéroïdes, elles ont avec ces dernières une analogie qu'on ne saurait méconnaître.

Le règne animal lui-même offre des éléments de même ordre. Nous ne parlerons pas des *granulations éosinophiles* à contour arrondi que l'on rencontre dans les jeunes leucoblastes des oiseaux et que l'on a prises tout d'abord pour des *Micrococcus*. Les *corps bacilliformes* de Van Beneden ([2]) reproduisent à s'y méprendre l'ap-

parence des bactéroïdes des Légumineuses. Dans l'épiblaste d'un embryon de lapin, Van Beneden vit des cellules comprenant deux parties, une masse médullaire et une couche corticale. Le cytoplasme cortical est clair et réticulé; le cytoplasme médullaire est plus foncé et plus granuleux, si ce n'est au voisinage du noyau. Outre des globules adipeux simples et arrondis ou concrescents et lobés, il y a dans la partie interne de la cellule un nombre variable de bâtonnets réfringents droits, à bords parallèles, à épaisseur assez uniforme et dirigés en divers sens. Ces tigelles ressemblent beaucoup à des bactéries et, pour ce motif, Van Beneden les nomme *corps bacilliformes*. Ces éléments se trouvent normalement dans les cellules ectodermiques. Ils existent parfois en nombre très considérable dans une cellule, s'entre-croisant en tous sens et distribués sans aucun ordre. Quelquefois il y en a une telle quantité que le corps de la cellule en paraît être presque exclusivement constitué. La plupart sont rectilignes et ont la même largeur partout; ils sont généralement droits. D'autre part, leur diamètre et leur longueur diffèrent d'un bâtonnet à l'autre. On en voit aussi qui sont légèrement flexueux, quelques-uns moniliformes, comme s'ils étaient formés de granules alignés. Cette disposition rappelle les corps sphériques que Lundström assimile à des spores chez les bactéroïdes. Van Beneden en a trouvé aussi qui étaient claviformes, étant un peu plus renflés à une extrémité qu'à l'autre, ce qui rappelle la forme attribuée aux bactéroïdes par le naturaliste suédois. L'éminent cytologue n'a pu s'assurer si la portion médullaire offrait la disposition de réseau si évidente dans le cytoplasme pariétal.

Des corps bacilliformes de Van Beneden, R. Bonnet ([6]) rapproche certains « bâtonnets cristalloïdes » régulièrement tronqués à angle droit aux extrémités, ou plus aigus, souvent cunéiformes, tantôt isolés, tantôt en groupes, rappelant souvent un paquet d'allumettes, qu'il a observés dans le chorion, l'épithélium utérin, le lait utérin de la brebis. Chez des œufs assez développés les bâtonnets remplissent entièrement certaines cellules du chorion, au point qu'on n'y distingue plus ni le cytoplasme ordinaire ni le noyau, mais un amas de bâtonnets entourés d'une membrane. Dans l'épithélium utérin, ces bâtonnets varient de la limite des grandeurs mesurables à la

taille d'un globule blanc du sang. L'auteur avait songé d'abord à les rapprocher des cristalloïdes d'albumine bien connus chez les végétaux; mais il a renoncé à cette interprétation en raison des réactions qui indiquent certainement un corps organique de nature albuminoïde, doué d'une constitution beaucoup plus résistante que les cristalloïdes. Bonnet (7) compare aussi ces bâtonnets à d'autres qu'il a observés chez les Orchis et les Lupins.

O. Hertwig (32 bis) a aussi indiqué dans le vitellus des œufs de grenouille des corpuscules albuminoïdes en forme de fuseaux plus ou moins incurvés, mais qui diffèrent notablement des bactéroïdes. Bien plus étroites sont les relations des corpuscules des Légumineuses avec les corps bactériomorphes signalés dernièrement par Blochmann (4 et 5) dans les tissus et les œufs des insectes. L'auteur colorait ces productions suivant les procédés couramment employés en bactériologie.

Pour nous résumer, les arguments empruntés jusqu'ici à la morphologie, à la microchimie, à la physiologie, à l'histologie comparée, loin de prouver l'autonomie des bactéroïdes, sont bien plus favorables à l'opinion qui y voit une simple différenciation du cytoplasme. Nous compléterons cet exposé critique de la question par quelques observations personnelles qui confirment cette conclusion.

On sait que les bactéroïdes sont plus ou moins résorbées pendant la maturation des graines. On provoque une transformation analogue en enfermant de jeunes plantes dans un espace confiné. Ayant abandonné sans terre ni aliments, dans des flacons bien bouchés, où l'atmosphère était saturée d'humidité, des pieds de trèfle, de *Medicago*, de *Trigonella*, etc., richement pourvus de tubercules radicaux, nous avons vu de nombreuses vacuoles apparaître dans les cellules spéciales. Dans ces conditions, les bactéroïdes devenaient transparentes, leur substance se condensant en globules de légumine disposés de distance en distance. Un certain nombre de corpuscules était donc résorbé, d'autres appauvris et leur substance avait été évidemment consacrée à l'accroissement de la plante et au développement des feuilles qui augmentaient notablement en taille et en nombre.

On distingue parfois sur les coupes un réseau dont les cordons

sont constitués par des bactéroïdes; mais la continuité de ce reticulum et son identité avec les bactéroïdes sont plus faciles à constater dans les conditions suivantes. On pratique sous l'eau avec un scalpel des sections assez fines de tubercules vigoureux et bien pleins, on laisse les tranches vivantes dans l'eau et, au bout de quelques heures, on voit apparaître un reticulum très net, tandis que le reste du cytoplasme forme des grumeaux plus ou moins irréguliers dans les mailles. Nous avons vu cette production en place (fig. 13); elle occupait toute la cavité cellulaire. Nous l'avons vue aussi isolée dans le liquide après rupture de la paroi; elle se montrait alors en fragments plus ou moins étendus (fig. 14); ces fragments se réduisaient souvent à 3 ou 4 alvéoles, ou même à des corps plus ou moins rameux, absolument identiques aux bactéroïdes (fig. 15). En recourant à de très forts grossissements, on distingue de légers renflements aux carrefours où aboutissent plusieurs cordons; on se rappelle que ces renflements s'observent aussi sur les bactéroïdes isolées. On voit aisément le réseau se dissocier en bactéroïdes et la plupart des réactifs amènent brusquement cette décomposition. Les bactéroïdes sont donc, au moins en partie, les débris d'un réseau cytoplasmique formé d'une matière assez spéciale et imprégné de substances albuminoïdes de réserve. Si l'on s'étonnait que cette disposition n'eût pas frappé les excellents observateurs qui ont traité cette question, je rappellerais les difficultés que l'on rencontre lorsqu'on veut constater la continuité des éléments chromatiques du noyau. Ceux-ci se présentent dans la plupart des réactifs, soit comme un amas confus, soit comme des bâtonnets simples ou rameux disséminés dans la substance fondamentale. On n'hésite pas pourtant à y voir les fragments d'une masse pelotonnée ou réticulée.

Selon toute probabilité, toutes les bactéroïdes font partie primitivement d'un réseau très dense; mais l'observation directe est alors presque impossible. Plus tard, un certain nombre d'entre elles s'en détachent et demeurent dans les mailles. Ces dernières, qui ont peut-être subi la dégénérescence caséinique plus profondément que les autres restées en place, car on y voit souvent les globules de légumine, ont surtout perdu la vitalité propre par adaptation au

rôle de réserves. Sur des coupes de *Vicia hirsuta,* abandonnées dans l'eau depuis 4 jours au mois de mars, nous avons distingué un réseau immobile de la plus grande netteté dans lequel s'agitaient d'innombrables globules de légumine animés d'un mouvement moléculaire très rapide.

Cette organisation rappelle ce que Frank ([27]) a observé dans les cellules des excroissances radicales de l'aune. Il a distingué, en effet, dans le cytoplasme deux masses fortement réfringentes, dont l'une tapisse de petites chambres ou des canalicules, tandis que la moins réfringente forme le remplissage des cavités ; il compare cette formation à une éponge dont les interstices seraient comblés par une matière étrangère.

Évolution du parenchyme. — Les cellules spéciales acquièrent de bonne heure les caractères que nous venons d'indiquer. Dès qu'elles s'opposent aux autres éléments du parenchyme par leurs volumineux noyaux, les bactéroïdes existent dans leur cytoplasme, se répandent dans l'eau et s'y agitent d'un mouvement moléculaire assez vif. Avant que les cellules aient atteint leur taille définitive, il y a un stade pendant lequel il se forme des vacuoles en divers points (fig. 30). Le noyau d'ailleurs est trop volumineux pour quitter sa situation médiane. Puis le contenu redevient compacte. Mais à partir de ce moment l'albumine cesse de remplir entièrement les cellules du tubercule : il y a une première production d'amidon.

De Vries ([70]) a déjà constaté à une période précoce la localisation de l'albumine, principalement dans la région terminale, tandis que le reste du tissu en voie d'accroissement est bourré de grains d'amidon.

Prillieux ([53]), qui insiste sur la richesse en amidon de cette zone périphérique, signale également des « grains de fécule mêlés aux corpuscules bactériformes dans les tubercules jeunes et en voie d'accroissement rapide du *Cytisus ramosissimus* ».

Cet amidon n'envahit complètement qu'un certain nombre de cellules qui perdent momentanément les caractères de cellules spéciales. Les cellules amylacées ont une répartition très irrégulière. Les unes confinent directement aux petits éléments corticaux comme si le tissu extérieur envoyait des prolongements dans le tissu cen-

tral ; d'autres sont entremêlées aux cellules bactéroïdiennes de façon à les isoler entièrement ou à les dissocier en petits groupes.

Si on laisse des tubercules parvenus à cet état se dessécher à demi ou si l'on soumet des coupes à des réactifs capables de contracter le protoplasma, les cellules bactéroïdiennes deviennent entièrement flasques ; leurs parois opposées viennent presque au contact, en sorte qu'à un faible grossissement les cellules amylacées semblent avoir seules persisté, séparées entre elles par des membranes épaisses correspondant aux cellules spéciales elles-mêmes.

Une petite quantité d'amidon peut se former dans toutes les cellules internes, mais alors elle reste localisée à la périphérie et modifie peu l'aspect typique des cellules bactéroïdiennes. C'est ce qu'on peut voir sur de très jeunes tubercules de *Melilotus officinalis,* déjà à l'époque où la plantule n'a d'autres feuilles étalées que les cotylédons. A la périphérie des cellules spéciales et presque contre la membrane, on voit apparaître des bâtonnets amylacés, parfois un peu élargis, qui recouvrent comme des plaques discontinues les bactéroïdes du cytoplasme (fig. 28). La densité du contenu ne nous a pas permis alors de distinguer nettement une formation de leucites aux dépens desquels naîtraient ces grains ; mais leur existence est très probable. On la constate plus facilement dans les cellules qui vont transformer la majeure partie de leur contenu en amidon. Des masses de substance albuminoïde incolore, mesurant de 2 à 6 μ, se séparent de la masse du cytoplasme à la périphérie d'abord où elles sont assez nombreuses pour devenir polyédriques par compression réciproque, puis autour du noyau et enfin dans toute la masse. Le cytoplasme revêt ainsi une apparence réticulée qui doit être distinguée de celle que nous avons mentionnée plus haut au sujet du réseau de bactéroïdes. Des granules d'amidon apparaissent disséminés d'abord dans la portion périphérique de ces leucites ; mais un accroissement rapide les amène à se toucher au centre et l'on a ainsi des grains composés (fig. 29). Le noyau subit des transformations non moins profondes que le cytoplasme, car il présente à peu près la même taille que ceux des racines ordinaires, quand les bactéroïdes ont disparu de la cellule.

Dans certaines espèces, l'amidon est en grains composés dans le

tissu qui, auparavant, ne comprenait que des cellules spéciales, tandis qu'il est en grains simples dans les petites cellules du pourtour ; mais il n'y a pas à cet égard de règle absolue.

Il existe donc un stade où l'amidon se rencontre dans les régions les plus diverses du parenchyme de la radicelle et même de la poche ; mais le faisceau nous en a paru dépourvu, y compris le péricycle qui garde un contenu albumineux très dense. Les cordons conducteurs se présentent comme des lacunes blanches sur le fond bleu des coupes traitées par l'iode.

L'amidon formé pendant la période de croissance dans le tissu bactéroïdien est transitoire. Comme l'a déjà indiqué de Vries ([70]), il disparaît progressivement à la base, puis à la région moyenne. Il arrive donc un moment où il prédomine dans la zone où sont plongés les faisceaux et correspondant assez bien à la gaîne amylacée de Sachs.

A. N. Lundström ([43]), dans ces derniers temps, s'est surtout préoccupé du mode de destruction des grains d'amidon. Il en donne une description que nous reproduisons tout en faisant les réserves les plus absolues sur le rôle qu'il attribue aux bactéroïdes dans ce phénomène. Au début, les granules se désagrègent et il se forme une petite dépression sur la face par laquelle ils étaient primitivement unis. La forme et l'étendue de cette dépression varient. Peu à peu la profondeur de l'excavation augmente au point que le granule d'amidon prend l'aspect d'un petit zoosporange. Quand le granule confine par plusieurs faces à d'autres granules dans le grain composé, une cavité peut se creuser sur chaque facette mise à nu et l'on voit ainsi des restes de grains d'amidon de formes très irrégulières. L'auteur a toujours vu au contact de ces grains attaqués des corpuscules analogues aux bactéroïdes qui se nichaient même dans les cavités, augmentaient de nombre et de taille à mesure que les grains se creusaient, et il ne doute pas que le creusement ne soit dû à leur action. Si un tel rapport existe en effet, on peut croire qu'il y a eu confusion entre les bactéroïdes et des bacilles véritables, comme il s'en développe si facilement sur les tranches de tissu bactéroïdien et même dans les tubercules intacts, lorsqu'on abandonne les plantes dans l'eau ou que leur vitalité est ralentie. La présence d'orga-

nismes étrangers est d'autant plus vraisemblable que les exemplaires sur lesquels repose la description de Lundström ont été recueillis dans les prairies d'Upsal en plein mois de janvier, c'est-à-dire à une époque où la force de résistance des trèfles en expérience était réduite à son minimum. Nous avons observé de ces mélanges de bactéroïdes et de bactéries où il était presque impossible de distinguer à première vue ces deux sortes de formations.

Il n'en est pas moins vrai que ce mode de destruction est très intéressant et bien différent, comme le remarque l'auteur, de la corrosion observée par Berthold et Reinke sur l'amidon de la pomme de terre. Dans ce dernier cas, en effet, les microbes produisent de petites fissures qui partent de points quelconques de la périphérie et progressent vers le noyau.

La description de Lundström se rapporte-t-elle à un cas particulier et exceptionnel de destruction de l'amidon à la suite d'une infection parasitaire, ou bien est-ce là le mode normal de transformation de l'amidon transitoire des tubercules? Nous ne saurions trancher cette question. Toujours est-il que la résorption a lieu et qu'à la réserve amylacée se substitue, dans la plupart des cellules spéciales, une nouvelle quantité de réserve bactéroïdienne; en même temps, les bactéroïdes augmentent dans les cellules non amylacées, en sorte que ces dernières ne s'aplatissent plus aussi facilement sur les préparations.

Comme le remarque de Vries (70), il semblera évident que cette albumine est appelée à jouer un tout autre rôle que celle que nous trouvions dans les plus jeunes tubercules, si l'on songe que cette dernière a été employée à former le protoplasma des tubercules en croissance, tandis que l'autre commence à s'entasser après la fin de la période d'accroissement. Elle-même sera résorbée plus tard; mais, ne pouvant être utilisé dans les tubercules mêmes, ce dépôt trouve son emploi dans d'autres régions du corps, comme le prouvent les conditions dans lesquelles les tubercules se vident.

C'est pendant cette période que le tissu spécial se présente dans toute sa netteté, et c'est d'après des exemplaires arrivés à ce stade que nous avons donné la description générale des bactéroïdes. Nous n'y reviendrons pas.

La plante puise à cette réserve dans les circonstances où ses dépenses l'emportent sur les recettes : nous avons vu les bactéroïdes résorbées par suite de l'inanition et fournir pour l'accroissement des feuilles la substance qui n'arrivait pas du dehors. Une semblable résorption s'opère normalement pendant la maturation des graines. De Vries ([70]) avait déjà constaté que les cellules spéciales sont très gorgées de bactéroïdes à l'époque de la floraison, tandis qu'en hiver l'albumine est bien moins abondante, quoique répandue encore dans tous les tissus. Les espèces annuelles elles-mêmes gardent jusqu'à la mort une certaine quantité d'albumine dans leurs tubercules et, comme le remarque Tschirch ([67]), ce reste de substances riches en azote qui revient à la terre est une des sources de ces nitrates dont plusieurs Légumineuses ont la propriété de doter le sol. Cela d'ailleurs ne nous apprend pas d'où ils sont venus dans les tubercules eux-mêmes, ce qui est le point essentiel, car pour les nombreux types à racines superficielles on ne peut pas admettre qu'il y a eu simple déplacement des nitrates puisés dans les profondeurs du sous-sol, assimilés par la plante et rendus aux portions avoisinant la surface par les tubercules surtout développés à ce niveau. Sorauer ([62]) accepte l'idée de Tschirch.

Tschirch ([67]) s'est spécialement occupé du sort des tubercules à la fin de la première période de végétation dans les espèces vivaces. Les tubercules eux-mêmes vivent plusieurs années. Chez les tubercules destinés à l'année suivante, le tissu terminal reste bien vivant, relié qu'il est au membre générateur par les faisceaux isolés par leur endoderme propre et par les éléments corticaux au sein desquels sont plongés les faisceaux. Ce tissu produira de nouvelles cellules spéciales à la période suivante. Parfois il se fragmente en plusieurs points de végétation qui prendront plus tard un accroissement autonome et le tubercule sera surmonté d'autant de digitations. Nous savons d'ailleurs que le tubercule peut être lobé de très bonne heure et qu'alors les digitations ont même contenu que le tronc principal dont elles sont presque contemporaines. Selon Tschirch, les cellules spéciales se vident, s'affaissent et se déchirent, ce qui produit des lacunes dans le tissu. A vrai dire, elles ne périssent pas, dans la règle du moins ; elles sont seulement dépouillées de leurs

réserves; mais le cytoplasme très clair contient encore un noyau facile à mettre en évidence par les réactifs appropriés et elles sont susceptibles de devenir le siège d'une nouvelle accumulation de bactéroïdes au printemps suivant. Il est vrai que ces éléments flasques et délicats ne résistent pas à toutes les manipulations qu'on leur fait subir et se laissent aisément déchirer par le rasoir qui sert à y pratiquer des sections. Mais il n'est pas rare non plus que ce tissu éloigné des éléments conducteurs ne dépérisse au cours de la mauvaise saison, en sorte qu'on rencontre assez souvent des tubercules dont tout le tissu spécial est détruit. Alors les cellules limitantes ont leurs parois fortement épaissies et subérisées et les zones corticale et terminale, isolées d'une part par cette couche protectrice interne, de l'autre par le liège périphérique, peuvent rester vivantes; mais le plus souvent alors le tubercule périt entièrement et n'est plus représenté que par ces sortes de calices bruns, dont nous avons parlé plus haut. Il y a enfin des tubercules vivaces qui, aussitôt après la maturation des fruits, reconstituent leurs réserves, en sorte que l'on trouve au cœur de l'hiver, par exemple chez le *Trigonella hybrida,* le tissu bactéroïdien aussi bien développé qu'en pleine période de végétation. Tschirch ([67]) a trouvé en hiver sur les racines de *Robinia* des tubercules pleins à côté des tubercules vides. Il remarque à ce propos que chez les espèces vivaces l'évidement n'est pas aussi constant que chez les espèces annuelles.

Outre ses réserves en amidon et en matières albuminoïdes représentées principalement par les bactéroïdes, le parenchyme des tubercules paraît contenir aussi des amides. Ayant laissé séjourner longtemps dans la glycérine des tubercules appartenant à une plante adulte de *Phaseolus multiflorus,* Tschirch observa à côté des bactéroïdes des cristaux analogues à ceux d'asparagine. Toutefois il n'en a pas complètement achevé l'étude chimique. Cette constatation a bien son intérêt, puisque les amides peuvent former de l'albumine en présence d'un hydrate de carbone. D'un autre côté, de Vries ([70]) n'a pu déceler les moindres traces de glucose dans les tubercules, lors même que la racine qui leur servait de support en renfermait une notable proportion.

Frank ([26]) enfin a établi que les tubercules du lupin n'offrent

jamais la réaction des nitrates avec la diphénylamine, quand même les portions de l'écorce qui avoisinent le tubercule en dessus et en dessous la possèdent énergiquement. Selon cet auteur, ils ne paraissent pas contenir de nitrates ni de nitrites.

Champignons des tubercules.

Outre les éléments appartenant à la Légumineuse, les tubercules renferment des êtres étrangers dont l'existence était déjà rendue probable par les expériences de stérilisation rapportées plus haut. La nature même du Cryptogame a été diversement appréciée. Il venait naturellement à l'esprit que les Bactériacées devaient être mises en cause et cette idée fut d'autant plus facilement accréditée que les bâtonnets cytoplasmiques avaient été pris tout d'abord pour des Microbes. Cette coïncidence détourna l'attention des botanistes de la voie à suivre pour découvrir l'agent véritable de l'infection. On tint même assez peu de compte d'observations, anciennes déjà, par lesquelles la question était presque résolue.

Eriksson ([23]) découvrit dans le tissu terminal, dépourvu de bactéroïdes, de petits filaments mycéliens intracellulaires, présentant çà et là des nodosités. Il observa en outre, dans les stades jeunes, 3 ou 4 hyphes semblables, mais plus épais, se dirigeant radialement de la surface de l'écorce vers les rudiments des tubercules où ils devenaient bien plus fins et plus rameux.

Restait à établir si ces hyphes sont la cause de la formation des tubercules ou s'ils pénètrent après coup dans un tissu très propre à nourrir des moisissures. De Vries ([70]) se prononce pour la seconde alternative et n'admet aucune influence étrangère dans la genèse des tubercules. Schindler ([56]) tient pour certain que ces organismes ont pénétré tardivement du dehors dans les tubercules plus ou moins altérés. Cornu ([17]) et plus récemment Mattei ([46]) vont plus loin, car ils affirment qu'il n'y a dans les renflements aucune espèce de mycélium.

Prillieux ([53]), ainsi que nous l'avons déjà mentionné incidemment, s'est longuement étendu sur ces formations, qu'il envisage autrement qu'Eriksson. N'ayant pu y déceler de membrane propre, il y voit

des « cordons muqueux » et les compare au *Plasmodiophora Brassicæ*. Comme Eriksson il a vu, sur le pois, les cordons muqueux pénétrer de l'extérieur à l'intérieur des tubercules à travers la portion corticale. Dans le *Coronilla glauca*, il a constaté leur présence dans les cellules spéciales, bien que l'opacité du tissu rendît l'observation difficile. Nous connaissons les relations que Prillieux a cru trouver entre ces filaments et les bactéroïdes. D'autre part, il les rapproche des masses épaisses et réfringentes qu'on observe dans les cellules spéciales jeunes.

Presque en même temps, Kny ([34]) décrivait aussi comme un plasmode les cordons auxquels Eriksson avait attribué la nature mycélienne et Woronin ([78] et [79]) considère cette interprétation comme vraisemblable. Dans l'opinion de Kny, les bactéroïdes seraient les spores du Myxomycète. Chez le *Cicer arietinum*, Kny put suivre les cordons plasmatiques à travers plusieurs cellules; ils étaient parfois bifurqués et présentaient un épaississement local au niveau des cloisons cellulosiques qu'ils traversent. Schwendener ([60]) n'ayant jamais observé de membrane aux filaments dont il s'agit, y voit aussi des cordons plasmodiaux.

Frank ([24]) n'a pas été plus heureux que ses devanciers en cherchant à discerner la membrane des filaments; toutefois, l'expression de plasmode lui paraît déplacée. Il donne d'ailleurs la véritable explication d'une apparence qui faisait songer à l'aspect de certains protoplasmas nus. On observe souvent des filaments qui sont comme étirés et terminés en pointe plus ou moins allongée. Cette structure se rencontre dans les cellules ayant atteint une grande dimension. Les hyphes, ne s'étant pas accrus dans la même mesure que les cellules elles-mêmes, ont été distendus et rompus en leur milieu; aussi, en suivant le filament à partir du point où il perfore la membrane d'une telle cellule, le voit-on se terminer par une pointe graduellement effilée; mais, si la cellule est intacte, on voit généralement un second filament partant de la paroi opposée et se terminant de même en face du premier (fig. 18). D'ailleurs la rigidité des hyphes et leur résistance dans les cellules brisées sont contraires à la nature des plasmodes. Comme Prillieux, Frank a pu déceler la présence des filaments dans les cellules spéciales, bien qu'ils y soient plus dissé-

minés et plus difficiles à apercevoir que dans le tissu terminal. Son attention s'est portée aussi sur les excroissances terminales, ou intercalaires, ou brièvement pédicellées que présentent les hyphes. Il les considère comme de simples suçoirs. Nous ne reviendrons pas sur les relations que Frank a cru observer entre le Champignon et les bactéroïdes.

Les travaux de Brunchorst ([9]) ont fait définitivement rejeter l'hypothèse d'un lien génétique entre le Champignon représenté par les hyphes et les corpuscules des cellules spéciales. En même temps qu'il contestait formellement la nature cryptogamique des bactéroïdes, Brunchorst faisait une observation non moins importante pour établir celle des filaments; mais il en fit peu de cas, les Champignons n'ayant là, pour lui, qu'un rôle tout accessoire. Il vit les filaments pénétrer en forme de cordon dans les tubercules et traverser souvent en droite ligne un grand nombre de cellules. Il décrit une enveloppe bien nette aux tubes mycéliens, mais attribue à cette membrane une nature purement protoplasmique. Mais ce qui doit surtout être noté, c'est qu'il observa une formation de spores chez des tubercules vidés de trèfle et de vesce. Dans ces conditions, les dilatations des filaments grandissent; leur contenu devient granuleux et se divise en un grand nombre de petites spores rondes, très distinctes des bactéroïdes. L'auteur n'a pu suivre la destinée de ces spores. Il n'indique pas non plus la production de cloisons isolant comme un sporange la portion des filaments dans laquelle elles se forment. La membrane qui entoure ces corps multiplicateurs se détruirait entièrement pour les mettre en liberté.

Malgré ces importantes constatations, Tschirch ([67]) eut l'idée d'étendre aux gros filaments eux-mêmes la théorie défendue par Brunchorst au sujet des bactéroïdes. Les hyphes seraient aussi une simple différenciation du cytoplasme. Par une singulière fortune, malgré l'examen tout spécial auquel il soumettait ces formations, Tschirch n'a jamais pu trouver de filaments dans l'écorce externe (poche) et se croit autorisé de ce chef à nier l'origine étrangère du prétendu Champignon. D'après Tschirch, les filaments se présentent d'abord dans les cellules les plus extérieures de l'écorce comme de petites protubérances plasmatiques dépourvues de membrane, se

détachant de la couche pariétale et s'allongeant dans la cavité cellulaire sous forme de filaments.

Dans cette théorie il était difficile d'expliquer ce fait, que souvent un même filament paraît continu à travers une longue file de cellules. Voici comment Tschirch combat cette objection. Il a remarqué souvent deux excroissances qui se correspondent de chaque côté de la membrane. Est-ce un épaississement de la membrane elle-même? Est-ce un développement spécial du cytoplasme pariétal? L'auteur n'est pas explicite sur ce point. Il semble pencher pour la première alternative, tout en reconnaissant que la constitution des filaments est plus voisine de l'albumine que des hydrates de carbone des membranes ordinaires. Ces épaississements vont donc partir du même point pour s'allonger dans deux cellules distinctes. De plus, grâce à leur apparition précoce, ces formations existent dans des cellules en voie de division. Un cloisonnement vient-il à s'opérer, elles seront englobées dans la membrane nouvelle et, se dilatant de chaque côté (comme on le voit dans notre fig. 23), en constitueront une certaine partie. Si cette hypothèse est exacte, il semblerait que la membrane cellulosique doit être perforée par le filament qui lui préexiste et qu'elle doit présenter à ces niveaux les réactions des substances albuminoïdes. Telle n'est pas l'opinion de l'auteur. Ayant traité des coupes de tubercule par l'acide sulfurique, il a vu les membranes cellulosiques se gonfler et disparaître. Mais les filaments restaient inaltérés ou du moins prenaient seulement un aspect plus granuleux et à leur niveau on voyait un lambeau de membrane mince, maintenu par le filament lui-même au point primitivement occupé par la paroi cellulaire et s'étendant à une petite distance de chaque côté. C'était évidemment un débris de lamelle moyenne, respecté par l'acide et resté visible seulement au contact des filaments, c'est-à-dire au seul point où il était fixé en place par le tube non modifié, tandis qu'ailleurs la même assise chiffonnée ne présentait plus d'arête vive aux yeux de l'observateur. Tschirch pense que ce débris de membrane est imperforé. Le fait qu'il est maintenu en place par la portion du filament aplatie de part et d'autre comme une virole n'est pas suffisant pour démontrer l'absence d'un étroit pertuis au centre. Mais il devient bien difficile de comprendre la localisation

d'une mince couche cellulosique ou cuticulaire à travers un cordon plasmatique préexistant.

Les arguments invoqués par Tschirch lui-même ne sont donc pas tous favorables à son interprétation; cette dernière tombe devant ce fait, qu'un même filament peut être suivi à travers les tissus de la radicelle renflée et l'endoderme de la racine mère, c'est-à-dire entre deux régions qui certainement ne dérivent pas d'initiales communes.

En même temps Frank ([27]) rendait le même arrêt contre les parasites admis jusqu'alors dans les excroissances radicales de l'aune et, reniant son ancienne opinion sur les hyphes des Légumineuses, embrassait sans restriction la théorie de Tschirch. Van Tieghem et Douliot ([22]), Lecomte ([39]), s'y rangent également ; ils voient dans les hyphes, comme dans les petits bâtonnets, des matières albuminoïdes de réserve. Prillieux ([54]) paraît aussi ébranlé dans ses convictions sur l'autonomie de ces organismes.

Malgré ce courant d'opinion, qui semble avoir fait oublier les observations si précises d'Eriksson, Pichi ([50]) vient, dans une note sommaire, de plaider de nouveau en faveur de la nature cryptogamique des filaments, en se basant sur un examen plus attentif de leur structure. Le mycélium, observé à un fort grossissement, se montre formé intérieurement d'une substance hyaline dans laquelle sont plongées d'innombrables granulations de forme variée, mais le plus souvent un peu allongées. Ces granulations se colorent en brun par la teinture d'iode. La paroi extérieure n'est pas toujours très nette ; mais, ayant traité une coupe par la teinture d'iode, puis par l'acide sulfurique concentré, Pichi obtint une coloration azurée qu'il ne peut rapporter qu'à de la cellulose. Au moment où paraissait cette observation de Pichi (fin d'avril), nous venions de signaler le même résultat ([72]). Nous avions obtenu une coloration bleue très marquée sur des filaments débarrassés de la plus grande partie de leur contenu par l'hypochlorite de soude et traités ensuite par le chloro-iodure de zinc ; on voyait dans la gaine bleue des gouttes brunes correspondant au reste du protoplasma non détruit par le premier réactif.

L'existence d'une membrane cellulosique renverse les théories qui voyaient dans les filaments des tubercules un plasmode ou de simples réserves albuminoïdes. Mais s'il s'agit de Champignons, il

semble tout d'abord qu'ils doivent exister en dehors du tubercule. On doit donc se demander ce qu'ils deviennent si on les soustrait à cette association et d'où ils viennent ?

Les essais de culture tentés par divers auteurs n'ont abouti à aucun résultat. Et en effet, si l'on isole des filaments des tubercules jeunes et pleins de vitalité pour les maintenir sur un support inerte, riche en matériaux nutritifs, ils ne prennent aucun accroissement, ne modifient pas leurs contours ; leur contenu s'altère et devient granuleux et ils périssent. Les résultats obtenus en maintenant à l'humidité des tranches de tissu renfermant les filaments ne sont pas plus encourageants. A cette période il existe donc entre les filaments et la plante des relations trophiques assez étroites pour que l'évolution des premiers soit absolument enchaînée à celle de la seconde. Cette solidarité physiologique a-t-elle pour conséquence forcée la commune origine de ces deux corps ? Nullement : les parasites ou les symbiotes nécessaires présentent des transformations si profondes destinées à les adapter à la vie en commun, qu'ils ne sauraient vivre en dehors de leur hôte habituel. Le résultat négatif des cultures laisse donc intacte la question de l'autonomie des filaments, mais montre la nécessité de la poser autrement. Dans l'hypothèse d'une symbiose de Champignon et de Légumineuse, le premier doit, à un certain moment, mettre en liberté des corps reproducteurs. Ses tendances à s'affranchir ou tout au moins à révéler son individualité seront donc surtout marquées, quand il aura accumulé dans ses tissus tous les matériaux qu'il ne peut s'assimiler qu'avec l'aide de son hôte et quand ce dernier aura normalement sa vitalité ralentie. L'expérience a justifié cette supposition et montré que, comme les Algues dans l'association lichénique, les Champignons des Légumineuses acquéraient leur plus grande vigueur pendant le stade de symbiose, mais reproduisaient seulement à la période indépendante.

Nous prenons des pieds chargés de tubercules d'un an environ. Ayant constaté sur quelques-uns d'entre eux le fort développement des hyphes, nous laissons les autres en chambre humide plusieurs jours. Quelques-uns des renflements considérés parfois comme des suçoirs prennent alors une taille plus grande et s'isolent du support

par une cloison transversale, particularité méconnue ou niée positivement par les auteurs.

Sur les tranches vivantes placées dans l'eau à cet état, on constate directement au microscope, par des mensurations successives, la croissance des sphères terminales, en même temps que le contenu, bien distinct d'une membrane mince, se divise en masses arrondies bien plus grosses que les granulations visibles dans le reste du protoplasma. Les boules sont donc devenues des sporanges. Il est facile d'ailleurs d'établir que les filaments sporangiaux sont identiques à ceux qui ont été décrits par les auteurs aux stades antérieurs, car ils ont conservé les mêmes relations, les mêmes dilatations au niveau des membranes qu'ils traversent (fig. 24) et enfin ils sont en continuité avec des portions qui n'ont pas subi le même accroissement ni les mêmes transformations. Nous n'avons pas obtenu d'ailleurs, dans ces conditions, de spores mûres et capables de germer. Au bout de quelques jours, l'accroissement restait stationnaire ; la membrane du sporange se déchirait partiellement et les granulations restaient en place, mises à nu en partie, ou bien étaient dispersées passivement dans le liquide.

Ainsi les cultures artificielles faites avec des filaments parvenus à un degré convenable de développement nous ont permis d'assister à la croissance et à l'isolement des sporanges, ce qui nous donne un renseignement important sur la nature de ces êtres. Pourtant les conditions anomales ainsi réalisées s'opposaient à leur complète maturation. Nous avons alors examiné des tubercules entièrement évolués, comme on en trouve à la fin de l'hiver. Sur le *Galega officinalis,* le *Medicago disciformis,* etc., le parenchyme interne détruit était parcouru par des hyphes ramifiés, ayant sensiblement la dimension et la réfringence des filaments observés dans les tubercules vivants, et portant çà et là des renflements terminaux dont les uns devenaient directement des sporanges, tandis que les autres transformaient leur contenu en une chronispore ou corps conservateur endogène. A mesure que ces corps reproducteurs mûrissaient, les filaments qui les supportent se vidaient et finissaient même par être détruits, en sorte que la plupart des sporanges et des spores durables semblaient isolés dans le tissu décomposé.

Le sporange mûr atteint environ 20 μ ; le contenu, qui auparavant (fig. 32) avait montré l'aspect grossièrement granulé des renflements obtenus dans les cultures, se partage en boules que l'on distingue déjà avant que leurs limites soient bien accusées, grâce à la sphère brillante renfermée dans chacune d'elles (fig. 33). Bientôt ces boules s'isolent entièrement (fig. 34), puis elles s'échappent dans l'eau sous forme de zoospores du type des Monades. La zoospore (fig. 35, 36) est piriforme, portant un flagellum raide et unique, inséré sur un côté du bout large. Une sphère brillante, qui paraît faire une légère saillie, est nichée latéralement et, sur la face opposée, il existe d'ordinaire un petit amas de granulations de teinte sombre. La soie raide, en se courbant, projette brusquement le corps, et les zoospores s'agitent par saccades. Parfois elles se rapprochent et restent appliquées l'une à l'autre par le bout pointu : on distingue un cil à chaque extrémité du couple ; les boules brillantes sont souvent placées sur les faces opposées. Nous ne savons trop quelle interprétation attribuer à cette sorte de conjugaison. A un certain moment, il y a, semble-t-il, une soudure véritable sans que le corps des conjoints subisse de modifications visibles. Après s'être déplacées un certain temps en commun, les deux zoospores s'écartent, mais restent maintenues ensemble par une sorte de bâtonnet bien plus épais que les cils (fig. 38), qui paraît être une masse visqueuse étirée, mais qui d'abord reste rigide. Cet état persiste quelque temps et donne au couple l'aspect d'une haltère qui se déplace lentement en culbutant. Puis le pont se coude ou s'incurve ; les corps se secouent à plusieurs reprises en sens inverse et, au bout d'un temps qui varie de quelques secondes à plusieurs heures, s'affranchissent entièrement l'un de l'autre, sans qu'il subsiste aucune trace de la substance unissante. Nous avons bien des fois été témoin de cette séparation et dans tous les cas une des zoospores, s'éloignant très rapidement, disparaissait du champ soumis à l'examen microscopique ; l'autre, au contraire, tournoyait lentement sur elle-même, faisait quelques sauts peu étendus, puis devenait entièrement immobile ; elle perdait son cil, arrondissait son contour, et, après avoir atteint une taille allant jusqu'à 7 μ, s'entourait d'une membrane cellulosique.

Avant de s'enkyster, le protoplasma subit un certain remaniement.

Nous avons fixé plusieurs heures de suite une zoospore qui venait d'être débarrassée de son conjoint. On distinguait dans sa masse, au-dessous du globule brillant, deux grosses granulations plus sombres et presque aussi grandes. L'une d'elles arriva au pôle opposé au cil, lequel était devenu lui-même presque arrondi; elle souleva lentement la couche limitante et devint libre. A ce moment, elle était elliptique; mais peu à peu elle s'allongea et prit l'aspect d'une bactérie. L'autre granulation suivit la même voie et fut expulsée de même. Sans avoir de preuves décisives sur la nature des ces corpuscules, nous sommes porté à y voir des corps étrangers absorbés antérieurement par les spores mobiles. Le protoplasma est alors presque homogène; la sphère brillante s'est effacée et l'on voit dans l'intérieur un espace clair qui semble être une vacuole. C'est à ce stade seulement que le cil disparaît et que la coque cellulosique se forme. On se demande s'il n'y a pas là une sorte de fécondation dont le résultat est de transformer la zoospore en spore.

La difficulté d'isoler ces spores et de trouver un milieu de culture convenable ne nous a pas permis d'en poursuivre le sort ultérieur. Les rudiments des chronispores ressemblent à ceux des sporanges. Un renflement terminal dans lequel s'est accumulé le protoplasma s'isole par une cloison développée soit à la base même de la dilatation, soit un peu plus bas, de manière à comprendre un col, outre la tête, dans l'espace destiné à former l'organe conservateur. Une boule assez réfringente, mesurant 8 μ, 5, apparaît au centre, entourée de granulations grosses et serrées, qui se perdent insensiblement dans le contenu transparent du reste de la cavité (fig. 40). Une coque très épaisse, atteignant progressivement 2 μ,3, entoure la masse granuleuse et l'on voit la membrane primitive, plus ou moins ratatinée, qui persiste autour d'elle. La coque épaisse présente une plage amincie, elliptique ou linéaire, qui est un pore germinatif. Entre la zone granuleuse et la masse centrale, on distingue assez souvent une aire transparente. Parfois la sphère centrale est fragmentée en boules inégales d'aspect graisseux.

Les caractères des organes de multiplication et de conservation, ainsi que ceux du mycélium qui leur donne naissance, font de ce champignon une Chytridinée du genre *Cladochytrium;* nous le nommons *Cladochytrium tuberculorum.*

Étant donné que les Chytridinées sont des champignons parasites, que les *Cladochytrium* en particulier envoient dans toutes les directions d'un tissu vivant des tubes rameux qui envahissent un grand nombre de cellules dont ils perforent les membranes, il devient fort probable que le mycélium des tubercules vivants est l'appareil végétatif qui a accumulé les matériaux destinés à être dépensés, au moment où les racines se détruisent, pour la production des organes de vie latente ou de dissémination.

Les caractères mêmes des hyphes sont assez conformes à cette hypothèse et plusieurs auteurs avaient approché d'un résultat analogue. Nous laisserons de côté, bien entendu, l'appréciation des auteurs qui voyaient dans ces filaments un plasmode, puisque la présence d'une membrane cellulosique est un fait établi. En dehors de ceux qui y voyaient un allié des *Plasmodiophora*, la plupart des botanistes l'appelaient, à la suite de Frank ([24]), *Schinzia Leguminosarum*. Le genre *Schinzia*, créé autrefois par Nägeli, est resté longtemps assez mal caractérisé, en sorte qu'il n'était guère compromettant de lui rapporter un champignon possédant, comme une des espèces découvertes par Nägeli dans les racines d'*Iris*, des filaments à membrane mince, s'épaississant et devenant ferme plus tard, et comme une autre de ses espèces, des renflements terminaux à contenu mal défini. (C. Nägeli, *Sur des champignons vivant dans l'intérieur des cellules végétales*. Traduit du *Linnæa*, 1842, p. 278; in *Ann. sc. nat.*, 2e s., t. XIX, p. 86, 1843.) Il semble aujourd'hui, grâce aux travaux de Weber et de Magnus, que les *Schinzia* se rattachent aux Ustilaginées. Le champignon des Légumineuses ne rappelle guère cette famille. Déjà auparavant, Frank ([25]) avait rangé provisoirement le champignon des Légumineuses dans le genre *Protomyces*. C'est aussi un type dont les affinités sont vagues et multiples. Plusieurs des espèces qui le composaient ont pris rang définitivement parmi les Ustilaginées, et le genre ainsi appauvri est considéré comme un précurseur des Ascomycètes. Mais les Ascomycètes à sporanges disséminés en des points quelconques des filaments, pourvus de spores en nombre probablement indéfini et de véritables kystes fonctionnant plus tard comme asques, soutiennent assez bien la comparaison avec des Chytridinées, surtout si l'on songe que la

plante qui leur était rapportée ne présente aucun cloisonnement transversal dans ses hyphes. On peut donc dire qu'en rapportant le cryptogame dont le mycélium est répandu dans les tubercules à un *Cladochytrium,* nous ne sommes pas bien éloigné des appréciations reposant sur les observations les plus exactes de nos devanciers. Au reste, la question était de nouveau posée, puisque Frank lui-même ([27]) renonce à attribuer aux filaments des tubercules la nature de champignons.

Si cette espèce est réellement la cause des excroissances de *Galega,* il est peu probable que ce soit elle seule qui infecte toutes les Légumineuses. On se rappellera à ce sujet les expériences d'infection d'Hellriegel ([32]) et les conditions toutes spéciales dans lesquelles se trouvaient les lupins. Rappelons aussi que les filaments n'ont pas la même taille dans les différents types de Papilionacées. Il est vrai qu'un seul et même filament change de diamètre et d'aspect suivant la région considérée et se trouve bien plus étroit et plus contourné dans les cellules spéciales que dans l'écorce du membre générateur. Mais le champignon trouve des conditions de milieu beaucoup plus identiques dans les tissus correspondants de deux espèces différentes que dans les diverses régions d'un seul individu et l'adaptation à la symbiose nécessaire, qui explique suffisamment ses transformations morphologiques dans le premier cas, ne donne aucun renseignement sur l'origine de ces modifications si l'on considère les filaments différents de deux Légumineuses comme provenant d'un même cryptogame.

Il y a même des espèces, en tête desquelles se place le lupin lui-même, chez lesquelles on n'a pas observé de filaments. Récemment encore Brunchorst ([9]) mentionnait la même exception chez les *Phaseolus multiflorus, Podalyria, Macherium firmum, Inga ferruginea* et *Desmodium canadense.* Faut-il admettre avec Lundström ([43]) que la formation des tubercules, provoquée d'abord par des cryptogames, est devenue progressivement une propriété spécifique et s'est affranchie d'une intervention actuelle des organismes inférieurs ? Il nous semble plus prudent de réserver notre jugement sur ces observations négatives. Puisque les filaments ont été niés par de bons observateurs chez les espèces mêmes où ils sont très apparents, il est pos-

sible qu'ailleurs ils aient échappé aux recherches les plus attentives, à cause de leur forme particulière ou de leur petite taille. Frank laissait déjà soupçonner ([24]) la possibilité d'une confusion entre les plus fins filaments et les bactéroïdes. La famille des Chytridinées présente d'ailleurs une grande diversité dans son appareil végétatif.

Les conditions dans lesquelles les *Cladochytrium* se conservent et se propagent rendent suffisamment compte de la grande dispersion du champignon des Légumineuses.

Nous avons encore rencontré sur les tranches de *Galega* et de *Medicago* conservées dans l'eau un autre Cryptogame dont les affinités nous semblent assez peu claires, mais qui pourrait bien être au voisinage des Ustilaginées. Bien que nous n'ayons pu y démontrer un lien quelconque avec le champignon des tubercules, nous en donnons une reproduction (fig. 42-44) à titre de document. La membrane des tubes est toujours bien apparente ; le contenu, d'abord homogène, devient finalement granuleux, puis renferme de nombreuses boules réfringentes. Le filament, longtemps dépourvu de cloisons et muni de fréquentes anastomoses (fig. 42), émet latéralement des sphères presque sessiles, dont l'enveloppe est assez épaisse (fig. 44). Ces corps sporiformes sont, dans certains cas, assez régulièrement espacés. Ailleurs les excroissances (fig. 43) sont lobées et rappellent, d'une part les renflements irréguliers de certains hyphes des tubercules, de l'autre des rudiments de fruits de quelques Ustilaginées. Toutefois nous n'avons pu voir les lobes de ces masses devenir de véritables spores, leur contenu, comme celui des filaments, se transformant de bonne heure, faute d'aliment sans doute, en boules d'aspect graisseux ; sur les gros filaments qui portent ces expansions ramifiées, nous avons vu apparaître d'assez nombreuses cloisons.

Il ne suffit pas d'avoir établi que les filaments observés dans les renflements sont de nature mycélienne et qu'ils appartiennent peut-être au *Cladochytrium tuberculorum*. Il nous reste à démontrer qu'ils sont bien la cause de ces excroissances. A défaut d'infection expérimentale et de constatation directe de la pénétration du champignon dans la racine, nous pouvons établir par sa distribution la marche qu'il a suivie et arriver par cette constatation à un résultat positif.

Le trajet du cryptogame est très sinueux, en sorte que sur les coupes

très fines il est impossible d'en saisir la continuité sur une grande étendue, et, d'autre part, l'opacité des tissus internes est trop complète pour qu'on puisse le discerner sur des sections un peu épaisses. L'emploi de l'acide formique concentré nous a permis de tourner cette difficulté. Ce réactif éclaircit complètement le contenu des cellules spéciales, sans altérer les éléments, comme le fait, par exemple, la potasse, qui a été proposée récemment par Pichi ([56]) pour le même objet. On peut même employer ensuite les matières colorantes telles que la fuchsine, l'éosine, le vert de méthyle, l'hématoxyline, etc., et rendre toute leur netteté au cytoplasme et au noyau éclaircis. Le vert d'iode a pour les hyphes une élection assez marquée; mais ces artifices de préparation sont eux-mêmes superflus, car les filaments ne pâlissent pas, comme les tissus où ils sont plongés, sous l'influence de l'acide formique; leur réfringence spéciale les fait ressortir ainsi que leurs nodosités, et rien n'est plus facile que de constater la continuité des filaments sous forme d'un réseau complexe cheminant de cellule en cellule dans les tissus les plus riches en bactéroïdes.

Si nous pratiquons des coupes transversales de la racine mère de manière à passer par l'axe d'un jeune tubercule encore plongé dans les tissus de celle-ci, nous découvrirons sans peine les filaments indiqués par Eriksson (fig. 20). Dans la cellule la plus externe, l'hyphe commence par un renflement analogue à ce qu'on observe quand une zoospore de *Cladochytrium* ayant pénétré dans un élément superficiel s'est arrondie avant de pousser son tube germinatif. Il est possible que les zoospores que nous avons vues s'enkyster sur un support inerte auraient perforé la membrane avant de se munir d'une coque cellulosique si elles avaient été à ce stade en présence d'une racine vivante. Le tube se renfle dès qu'il rencontre une cloison, puis la traverse, rampe plus ou moins en se dilatant au contact des diverses membranes, se ramifie un peu, mais suit dans son ensemble une direction radiale pour arriver sans grands détours au contact de l'endoderme. Dans leur trajet cortical, les hyphes sont, d'une façon générale, plus larges, munis d'une membrane plus distincte et d'un contenu plus granuleux que dans le tubercule lui-même et l'on pourrait se demander tout d'abord si c'est bien le même individu. Nous nous en sommes assuré directement.

Arrivé à l'endoderme, le filament traverse en droite ligne cette membrane en s'élargissant et s'aplatissant contre les deux parois de manière à rappeler un I en lettre capitale. La rigididé de l'hyphe à travers l'endoderme nous a paru générale, car nous l'avons retrouvée dans maintes espèces. Le même filament peut être suivi dans le péricycle et jusqu'au sein des cellules spéciales. Mais alors il devient plus étroit, plus homogène, tortueux et muni de renflements. En un mot, il revêt là seulement les caractères spéciaux en rapport avec l'union biologique intime qu'il contracte avec la plante.

Mais plusieurs cas se présentent dans la manière dont le mycélium se comporte dans le péricycle. Tantôt il aborde cette zone en face des vaisseaux, et alors il se produit aussitôt un cloisonnement actif de cette région prédisposée à évoluer en racine. Mais comme le point d'introduction du champignon est livré au hasard, il n'est pas rare que le filament pénètre au niveau du péricycle qui revêt le liber, c'est-à-dire en un point non rhizogène. Les propriétés anatomiques ne sont pas troublées pour cela ; mais le mycélium se répandant de plusieurs côtés sollicitera simultanément les cellules qui recouvrent deux bandes vasculaires voisines. Les racines doubles ou multiples, qui concourent à former les tubercules, prennent ainsi naissance. A côté des racines doubles normales résultant de la proximité des couches rhizogènes, dont Van Tieghem a si bien précisé la genèse, il y a donc lieu de distinguer des racines doubles d'origine infectieuse.

S'il s'agit d'espèces dont les cellules spéciales sont entourées d'une assise très mince de parenchyme ordinaire, comme le *Galega officinalis,* le tissu bactéroïdien s'étend jusqu'au voisinage du point de pénétration du filament infectant à travers l'endoderme.

Ailleurs, par exemple chez le *Trigonella hybrida,* bien que les faisceaux se disposent en un cercle unique et réalisent parfaitement le type de racine agrégée, monocyclique et astélique, le parenchyme opposé au liber n'a produit que très irrégulièrement les cellules spéciales. Sur une coupe transversale, la masse bactéroïdienne présente une profonde dépression comblée par des cellules transparentes traversées presque en droite ligne par un filament simple (fig. 23) qui continue la direction radiale de l'hyphe en I de l'endoderme, présente au niveau de chaque cloison deux évasements

coniques opposés par la base, mais point de nodosités et fort peu de biburcations. Ces dernières n'apparaissent que dans la région où les bactéroïdes deviennent prédominantes. Cette portion du mycélium n'est pas parfaitement adaptée à la vie en commun. Aussi la voit-on de bonne heure subir un commencement de résorption, surtout dans les parties externes.

Quant aux filaments de l'écorce, ils ne sont pas du tout adaptés à ce mode d'existence et, dès que leur extrémité s'est engagée dans le tissu jeune et s'est associée au développement du jeune membre tuberculeux, ils se vident et semblent même disparaître entièrement. En tous cas, on cherche souvent en vain dans l'écorce qui entoure les tubercules âgés des vestiges de ces filaments dont le rôle est accompli et l'on s'explique ainsi comment ils ont échappé aux investigations de certains botanistes éminents.

Relations du champignon et de la racine.

Dans quels termes le champignon est-il avec la racine ? Il est évident qu'il détermine d'une part une modification profonde de l'ensemble sans toutefois effacer les caractères morphologiques du membre, d'autre part une transformation très spéciale des tissus. Cette action morphogénique et histogénique est tout à fait comparable à l'excitation trophique produite par un insecte et manifestée par l'évolution commune d'une larve et des tissus végétaux qui l'entourent. Et c'est à des galles, en effet, que nos tubercules furent tout d'abord rapportés par Malpighi ([44]). Toutefois les galles entraînent un dommage plus ou moins accusé et méritent d'être rangées de ce chef dans les productions parasitaires.

Cornu ([18]) s'était demandé si l'on ne devait pas attribuer à la présence de ces renflements l'état de souffrance général des Légumineuses employées dans la grande culture, d'autant plus que les espèces vivaces, capables d'infecter directement les nouvelles générations, semblaient particulièrement atteintes. Mais déjà Tréviranus ([64]), sans connaître le cryptogame qui habite les nodosités, ne pouvait, comme de Candolle ([13]), y voir des productions morbides, parce qu'on les trouve régulièrement chez un grand nombre d'es-

pèces en parfaite santé et qu'elles se développent en pleine période de végétation et de floraison. Pour le même motif, de Vries ([70]) refusait d'accorder aucun rôle aux champignons dans la production des tubercules ; pour lui, les filaments n'auraient pu qu'infecter les renflements déjà organisés.

Schindler ([56]) alla plus loin : il constata dans les milieux stérilisés une concordance entre l'absence de tubercules et un développement imparfait des pieds de vesce et de trèfle. Il ne peut guère être question d'une infection parasitaire, puisque les plantes anormales, affaiblies ou malades se montrent incapables de produire des tubercules, et nous ajouterons que la vigueur des excroissances et de leurs habitants est souvent en raison directe de celle de la plante qui les porte. Les organismes observés dans les tubercules pourraient bien être, non pas des parasites au sens vulgaire du mot, mais des productions symbiotiques, contribuant sans doute à élaborer des substances nutritives. Dans un travail ultérieur, Schindler ([57]), reprenant cette interprétation, rapproche les tubercules et leurs champignons des mycorhizes étudiés par Frank chez un grand nombre d'arbres, en particulier chez les Cupulifères. Toutefois cette opinion, fondée principalement sur des considérations d'ordre physiologique, n'était pas directement appuyée sur l'étude morphologique des organes, et Schindler pensait que le cryptogame symbiote était représenté par les bactéroïdes, les filaments étant pour lui, comme pour de Vries des moisissures introduites accidentellement. Aussi ses convictions au sujet de la symbiose furent-elles ébranlées par la lecture du Mémoire de Brunchorst, où l'autonomie des bâtonnets était formellement contestée. Hellriegel est tout à fait d'accord avec Schindler, et l'idée d'une symbiose ressort clairement de ses expériences, sans qu'il ait de notion précise sur la nature de l'associé des racines ; il le suppose de nature microbienne.

Lundström ([43]) est plus affirmatif encore sur les liens symbiotiques qui unissent les Légumineuses aux cryptogames. Il range, en effet, les tubercules dans la catégorie d'organes qu'il nomme *domaties* ou produits d'une association mutualiste. Ce seraient des *mycodomaties*.

C'est bien à cette conclusion que nous sommes amené nous-même. Nous ne croyons pas toutefois que le terme domatie soit avantageux

pour le cas qui nous occupe. Mieux vaut employer celui de *mycorhize,* car les radicelles tuberculeuses sont tout à fait analogues, au point de vue de la morphologie comme de la physiologie, à ce que Frank désigne sous ce nom. Les mycorhizes ordinaires, ceux de l'*Elaphomyces* et du pin en particulier, offrent souvent ces ramifications dichotomiques redoublées d'aspect coralloïde, qui sont plus ou moins complètement reproduites par les tubercules de *Vicia, Robinia,* etc. Frank a aussi indiqué dernièrement sous le nom de mycorhizes endotrophiques une variété commune chez les Éricinées et depuis longtemps connue chez les Orchidées, dans laquelle le mycélium se développe, comme chez les Légumineuses, non pas à la périphérie de l'organe qu'il revêt d'une gaine spongieuse, mais à l'intérieur même des cellules.

Nous pouvons donc résumer d'un mot l'histoire des tubercules radicaux des Légumineuses et de leurs habitants en les qualifiant de mycorhizes endotrophiques ou *endomycorhizes.*

Fonctions.

Une des différences les plus saillantes entre ces organes et les racines ordinaires est la persistance indéfinie d'une poche autour des portions latérales et d'une coiffe terminale ayant en grande partie la même valeur, au début du moins, mais renforcée parfois aussi par des tissus provenant de la radicelle elle-même, c'est-à-dire par une calyptre. De là résulte l'absence complète d'assise pilifère. La surface du mycorhize est donc dépourvue du tissu différencié dans les racines en vue de l'absorption. Les tissus actifs de l'organe, aussi bien que le champignon qui l'habite, sont isolés du milieu ambiant par une enveloppe protectrice comme l'extrême pointe des racines ordinaires. Dans ce sens, Gasparrini ([29]) avait raison d'y voir des renflements spongiolaires. Seulement, le motif même qui pouvait les lui faire envisager comme des formations susceptibles de s'imbiber des liquides nourriciers nous force de leur refuser toute faculté de cette nature, puisqu'on sait aujourd'hui que les spongioles des anciens servent essentiellement à protéger la pointe de la racine. A cette théorie de l'absorption par les tubercules, Tschirch ([67]) a op-

posé, en dehors de la question de structure qui est absolument démonstrative, une série d'objections de grande valeur. Leur forme souvent arrondie, en réduisant à son minimum la surface de contact avec le milieu nutritif, les place dans les conditions les plus désavantageuses. Ces inconvénients sont encore accrus chez plusieurs espèces par leur situation dans les couches superficielles du sol, c'est-à-dire dans la région que les jeunes plantes épuisent tout d'abord. L'agglomération des tubercules dans un espace restreint est non moins inexplicable. Et puis on ne comprendrait pas que ces organes, capables d'épuiser en peu de temps leur domaine exigu, continuent à s'y développer plusieurs années dans les types vivaces. Les radicelles minces, toujours mélangées en grand nombre aux tubercules, jouent donc seules le rôle absorbant. Tout autre est la fonction des renflements.

L'examen des tubercules à différents âges nous a montré, comme l'avait déjà remarqué de Vries ([70]), qu'en toute saison ces organes renferment une notable quantité d'albumine; mais que cette quantité augmente ou diminue alternativement suivant les conditions de la végétation, tandis que l'amidon subit des changements sensiblement inverses. De Vries insiste sur le fait d'une nouvelle accumulation d'albumine à la fin de la période d'accroissement, alors que l'albumine primitive et l'amidon qui l'a immédiatement remplacée ont été résorbés. Cette nouvelle apparition d'albumine dans un tissu adulte occupant la région médullaire n'est pas un fait habituel. D'autre part, ces réserves albuminoïdes, on n'en saurait douter, trouvent leur emploi dans d'autres régions du corps. Les conditions mêmes de leur résorption, aussi bien que l'absence de toute espèce d'utilité pour les tubercules eux-mêmes le prouvent clairement. Il est assez probable que c'est dans cette albumine des tubercules que les graines trouvent les matériaux de leur réserve albuminoïde. On n'a pas, il est vrai, comparé directement l'azote total des graines avec l'azote total des tubercules. Le premier semble l'emporter si l'on considère le volume des graines; mais la différence est bien atténuée si l'on songe, comme l'a remarqué Brunchorst ([9]), que la proportion d'azote à volume égal est plus forte dans le tubercule plein que dans la graine : chez le lupin elle est, d'après **E. Wolff**

([80]), de 7.25 p. 100 pour le premier, de 5.66 p. 100 pour la seconde. Ces chiffres concordent avec les données de Troschke qui a trouvé déjà 7.25 p. 100 d'azote total et 31.59 p. 100 d'albumine dans la matière sèche. On ne saurait admettre que cette énorme quantité d'albumine fût simplement un produit accessoire de transformation ; comme Schindler ([58]) le remarque avec raison, ce serait pour des matériaux formatifs si importants un fait sans exemple.

La présence des tubercules chez les espèces annuelles a paru à divers auteurs et déjà à de Vries, Schindler, etc., difficile à accorder avec l'opinion qui en fait de simples réservoirs. De Vries trouvait surtout extraordinaire leur apparition vers la fin de la période germinative, c'est-à-dire à une époque où toute la puissance végétative est d'ordinaire dépensée dans un rapide accroissement et où il n'y a pas de surplus à emmagasiner.

Les expériences d'Hellriegel ([32]) sur la végétation du pois dans un sol pauvre en azote sont venues jeter quelque lumière sur cette question. Dans ces conditions, on constate deux périodes de croissance nettement séparées. Tant que dure la semence, la plante croît régulièrement et offre la coloration normale ; mais une phase d'inanition succède à la consommation des réserves transmises par la plante mère et accumulées dans les cotylédons. Avant que la réserve de la graine soit épuisée, le pois a développé ordinairement six feuilles pennées. Il se trouve donc dans un état qui semble compatible avec une végétation normale et qui ne paraît pas de prime abord différer des conditions qui seront réalisées à la reprise de la végétation. L'absence ou le faible développement des radicelles tuberculeuses était la seule particularité propre à cette période. Il semble donc que les Légumineuses, au lieu de s'assimiler directement les matériaux introduits par les racines et les feuilles dans les divers tissus, les accumulent au sein des tubercules radicaux, du moins dans certaines circonstances. C'est de là que les parties de la plante les recevraient, comme elles les empruntaient aux cotylédons pendant la première période. Ce rapprochement entre le rôle des tubercules et celui des cotylédons indique comment ces réservoirs servent continuellement à l'individu et ont un rôle non moins accusé chez les plantes annuelles que chez les es-

pèces vivaces, bien qu'à certaines époques de puissante consommation, ils puissent changer d'aspect plus rapidement qu'en temps ordinaire. Mais cette explication laisse subsister intacte la question de l'origine de cette masse de substance albuminoïde entassée dans les tubercules.

Les mycorhizes des Légumineuses sont-ils de simples entrepôts où s'accumulerait l'albumine entièrement élaborée par les organes ordinaires de végétation, et ces accumulateurs ont-ils pour unique fonction de retenir cette substance fabriquée ailleurs en excès à certains moments, pour la rendre au fur et à mesure des besoins et régulariser l'apport des matériaux aux organes en croissance ? Cette opinion fut adoptée par Lachmann ([38]) et Nobbe ([48]). Tschirch ([67]) s'est rangé au même avis. Il pense que les Légumineuses, dont les racines s'étendent puissamment en largeur et en profondeur dans le sol, iraient au loin puiser les aliments exigés par les plantes ordinaires. Grâce à cette abondante distribution, elles réuniraient peu à peu ces substances disséminées dans une terre relativement pauvre, parce que chaque plante serait ainsi à même d'exploiter un volume de terre bien plus considérable que les céréales et la plupart des autres végétaux. Les tubercules fixés aux racines deviennent alors des réservoirs qui se remplissent lentement et graduellement pour se vider brusquement dans les périodes où la consommation doit être considérable en un temps limité, comme cela se passe à l'époque de la maturation des fruits. Après s'être vidés, ces tubercules se dessécheront comme des organes hors d'usage.

Cette explication est loin d'être applicable à tous les cas. Il est vrai que dans une même espèce, le nombre et la puissance des tubercules varient en raison inverse de la richesse du milieu en composés azotés directement assimilables par les plantes ordinaires, en nitrates par exemple ; les cultures dans l'eau et dans le sol l'établissent également. On pourrait en conclure que la possibilité d'une nutrition directe aux dépens du milieu extérieur dispense les Légumineuses de cette accumulation des principes azotés dans des organes spéciaux.

Mais toutes les Légumineuses sont loin de présenter un pareil développement de leur appareil radical, et si l'on peut supposer que

la luzerne, la vesce, etc., vont chercher à de grandes profondeurs les moindres traces de nitrates pour les entasser dans leurs organes et déterminer même une augmentation sensible dans la proportion où ces sels se trouvent dans les couches superficielles, il est évident que les espèces dont les racines demeurent à fleur de terre sont dans de tout autres conditions.

Or, en comparant les quantités d'acide nitrique qui se trouvaient dans deux sols, dont l'un avait porté une récolte de *Trifolium repens* et dont l'autre avait fourni une bonne récolte de *Vicia sativa,* Lawes et Gilbert ([30]) trouvèrent que, entre les profondeurs de $0^m,22$ et $2^m,70$, le sol cultivé en vesces contenait beaucoup moins d'acide nitrique que celui qui avait porté le trèfle. Il semble donc que la vesce avait pris beaucoup d'azote nitrique, tandis que le trèfle à racines superficielles très chargées de tubercules en donnait plus au sol qu'il ne lui en prenait.

Hellriegel avait aussi ([32]) fait des cultures dans du sable pur auquel il ajoutait des doses connues d'engrais azotés et non azotés. Le développement des Graminées dans ces conditions paraît lié directement à la quantité d'acide nitrique qui existe primitivement dans le sol ou qui s'y forme pendant la saison de végétation, dans le cas où, au lieu d'ajouter des nitrates, on donne à la terre du carbonate de chaux et un sel d'ammoniaque ou une autre matière azotée convenable, telle que gélatine, corne pulvérisée, etc.

Dans des sols non azotés, mais bien pourvus de tous les autres principes nutritifs, où les Graminées sans exception mouraient de faim, incapables de mûrir leurs grains, les Papilionacées ont eu une végétation tout à fait normale et luxuriante. Mais, dans ces conditions, il y avait cette phase d'inanition dont nous avons déjà parlé, succédant à la première période de croissance aux dépens des réserves de la graine, et pendant laquelle les tubercules se développaient. Puisque c'est précisément pendant cette phase d'inanition, alors que tous les organes végétatifs étaient visiblement affamés, que les tubercules grandissaient et se gorgeaient d'albumine, il paraît bien difficile d'y voir de simples réservoirs. Comment les organes en croissance leur auraient-ils cédé un produit assimilable dont ils avaient eux-mêmes si grand besoin? De cette observation on peut

conclure, d'une part, que les substances emmagasinées dans les tubercules radicaux sont employées à nourrir la plante et à assurer la vigueur de ses principaux organes; de l'autre, que l'accumulation d'albumine s'y effectue après que les organes assimilateurs habituels, feuilles et racines, ont déjà acquis un certain développement, en partie aux dépens des réserves de la graine.

Chez des plantes qui, comme le mélilot, diffèrent du pois par leurs cotylédons verts et foliacés, les tubercules se forment de très bonne heure, avant même que la première feuille végétative unifoliolée se soit étalée à l'air, et l'on n'observe pas d'interruption dans les premiers stades de la végétation.

Après la première période, le développement des tubercules est nettement lié à la vigueur des plantes, et toutes les conditions défavorables à la nutrition générale, telles que la sécheresse (Tschirch), l'obscurité (Schindler), les blessures (Benecke), amènent également un arrêt dans l'évolution des mycorhizes.

Si les tubercules ne sont pas de simples dépôts, ce sont donc des fabriques d'albumine. C'est à cette théorie que se rangent aujourd'hui presque tous les physiologistes. Mais quant à l'origine des matières premières de cette élaboration, c'est une question qui est loin d'être résolue et sur laquelle règne un complet désaccord.

Pour Hellriegel ([32]), les Légumineuses auraient la faculté d'assimiler l'azote libre de l'air et les radicelles tuberculeuses, ainsi que les microorganismes qui sont en relations avec elles et que l'auteur suppose être des bactéries, seraient dans un rapport étroit avec la nutrition de la plante et en particulier avec la fixation de cet azote. Il base son opinion sur les considérations suivantes : les Légumineuses cultivées dans des milieux artificiels accumulent dans leurs tissus plus d'azote qu'il n'y en avait dans le support. D'autre part, il fit végéter un certain nombre de tiges de pois dans l'air ordinaire, d'autres dans l'air dépouillé d'ammoniaque et d'acide nitrique; il ne constata aucune différence entre les deux lots. Il lui semble aussi difficile de comprendre la période d'inanition, si les Papilionacées étaient capables de fixer les combinaisons azotées de l'atmosphère, attendu qu'une plante munie de six feuilles normales ne serait pas incapable tout d'abord d'utiliser une source d'azote aussi constante,

aussi à sa portée que le sont les combinaisons azotées de l'atmosphère, si elle devait acquérir subitement cette faculté à un degré tel qu'on puisse lui attribuer tout le développement ultérieur. Il rappelle enfin l'opinion de Berthelot, suivant laquelle le sol renfermerait des organismes capables de faire la synthèse de l'azote libre de l'air, et celle de Salmi, Jodia, Hallier, pour qui de nombreux champignons pourraient faire entrer cet azote dans des combinaisons organiques. Ne serait-ce pas la même fonction qui serait accomplie, au profit des Légumineuses, par les microorganismes vivant en symbiose avec leurs racines? D'après Sorauer ([62]), le chimiste von Wolff s'est rangé à l'opinion d'Hellriegel.

De Vries ([7]) était plus disposé à admettre que les tubercules servent à prendre les aliments inorganiques azotés, aussi bien qu'à élaborer ces derniers en composés organiques. L'idée que les matières albuminoïdes emmagasinées dans les renflements radicaux proviennent de corps inorganiques, empruntés directement au sol, repose sur les bases suivantes. La possibilité d'une telle néoformation d'albumine dans les tubercules ressort de l'examen des conditions nécessaires à un tel acte. Au point de vue chimique, ces conditions sont la présence d'un composé organique non azoté, d'un composé inorganique azoté et d'un sulfate. Le premier est toujours représenté dans les racines par l'amidon, comme l'apprend l'examen microchimique. Les deux autres sont constamment tirés de la terre par les racines et, même si l'on admet que les tubercules ne peuvent pas les puiser eux-mêmes, ils leur arrivent par le plus court chemin. Au point de vue physiologique, les conditions de la formation de l'albumine nous sont inconnues; nous savons seulement qu'elle peut s'accomplir à l'obscurité. Autant que nous les connaissons, les conditions de la formation de l'albumine se trouvent donc réunies dans les radicelles tuberculeuses.

D'autres enfin croient que les tubercules forment de l'albumine aux dépens de substances organiques azotées. Brunchorst ([9]) embrasse cette théorie. Lawes et Gilbert ([30]) font à son sujet d'intéressants rapprochements entre la nutrition des Légumineuses et celle des Cupulifères pourvues de mycorhizes. Ils rappellent que, chez ces derniers organes, des corps amidés furent trouvés par Frank à l'ex-

térieur de la gaine formée par le champignon qui se prolonge en filaments au travers des interstices du sol. Frank concluait que les arbres à chlorophylle prennent leur aliment au sol par l'intermédiaire du champignon. « Il existe donc là pour certaines plantes un système d'accumulation qui les relie très intimement aux champignons eux-mêmes ; et c'est par une action du sol qui caractérise les plantes sans chlorophylle, que les plantes à chlorophylle prennent au sol leur alimentation azotée. » Cependant ils ne pensent pas que ce phénomène puisse jeter aucune lumière sur la question de l'assimilation de l'azote par les plantes herbacées qui ne vivent pas d'habitude en symbiose avec les champignons; mais, puisque les tubercules des Légumineuses sont de véritables mycorhizes, il n'y a pas de raison pour frapper cette famille de la même exclusion. C'est toujours dans les parties du sol voisines de la surface et riches en humus que cette action s'est manifestée ; aussi la même explication ne serait-elle pas absolument applicable aux Légumineuses dont les racines profondes se développent dans le sous-sol. Rappelons encore à ce sujet que les renflements prédominent souvent d'une façon marquée dans les couches les plus superficielles. On ne saurait affirmer *à priori* que les mycorhizes des Légumineuses ne puissent tirer parti des substances amidées contenues dans le sol; mais il paraît bien certain, d'après les cultures sur des milieux artificiels, qu'ils peuvent fort bien se passer de ce genre de produits.

Le dernier mot n'est pas dit sur le rôle physiologique des tubercules radicaux des Légumineuses et nous n'avons pas la prétention de trancher cette question complexe. Nous croyons seulement qu'il n'était pas indifférent à la solution du problème d'établir exactement la structure et la valeur morphologique d'organes qui paraissent être à la fois des entrepôts et des fabriques de substances alimentaires. Puisque ces renflements sont des mycorhizes et des mycorhizes d'un type tout à fait spécial, on peut dire que les Légumineuses possèdent en elles un élément capable d'exercer sur le milieu aux dépens duquel elles vivent une tout autre action que les Phanérogames ordinaires.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

1. — Benecke. Ueber die Knöllchen an den Leguminosen-Wurzeln (*Botanisches Centralblatt*, t. XXIX, 1887).
2. — E. Van Beneden. Recherches sur l'embryologie des mammifères. — La formation des feuilles chez le lupin (*Archives de Biologie*, t. I, 1880).
3. — Bivona. *Pugill. plant. rar. Siculæ* (t. IV).
4. — Blochmann. Ueber das Vorkommen bacterienähnlicher Körperchen in den Geweben und Eiern von Insecten (*Tagbl. der 60en Versamml. der Naturforscher und Ærzte*, 1887).
5. — Blochmann. Même sujet (*Zeitschr. für Biologie*, t. XXIV; N. F., t. VI).
6. — R. Bonnet. Die Uterinmilch und ihre Bedeutung für die Frucht (*Beiträge zur Biologie*; Stuttgard, 1882).
7. — R. Bonnet. Ueber eigenthümliche Stäbchen in der Uterusmilch des Schafes (*Deutsche Zeitschrift für Thiermed.*, t. VII, 1882).
8. — Bouché. In *Botanische Zeitung*, 1852.
9. — J. Brunchorst. Ueber die Knöllchen an den Leguminosen-Wurzeln (*Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft*, t. III, 1885).
10. — J. Brunchorst. Ueber einige Wurzelanschwellungen, besonders diejenigen von Alnus und den Elœagnaceen (*Unters. aus dem bot. Instit. zu Tübingen*, t. II, 1886).
11. — Buscalioni et Mattirolo. Si contengono bacteri nei Tubercoli radicali delle Leguminose ? (*Malpighia*, t. I, 1887).
12. — A. P. de Candolle. *Prodromus*, t. II.
13. — — Mémoire sur les Légumineuses, 1825.
14. — Clos. Ébauche de la rhizotaxie, 1848.
15. — — Du collet dans les plantes et de la nature de quelques tubercules (*Annales des sciences naturelles; Bot.*, 3e série, t. XIII, 1849).
16. — M. Cornu. Commission du Phylloxéra (Séance du 17 janvier 1876).
17. — — Études sur le *Phylloxera vastatrix* (*Mémoires de l'Académie des sciences*, t. XXVI, 1878).
18. — M. Cornu. Observations à (53) (*Bull. de la Soc. botanique de France*, t. XXVI, 1879).
19. — Jacques Daléchamp. Histoire générale des plantes, trad. par J. des Moulins (Lyon, 1615).
20. — Decaisne et Lemaout. Traité général de Botanique.
21. — Doody. Cité par Dillenius (*Raji Syn.*, 3e édit.).

22. — Douliot et Van Tieghem. Origine, structure et nature morphologique des tubercules radicaux des Légumineuses (*Bull. Soc. bot. de France*, t. XXXV, 1er mai 1888).

23. — Eriksson. Studier öfver Leguminosernas rotknölar (Lund, 1874, et Résumé dans *Botan. Zeitung*, t. XXXII, 1874).

24. — B. Frank. Ueber die Parasiten in den Wurzelanschwellungen der Papilionaceen (*Bot. Zeitung*, t. XXXVII, 1879).

25. — B. Frank. In *Leunis Synopsi.*

26. — — Ueber die Quellen der Stickstoffnahrung der Pflanzen (*Berichte d. d. bot. Ges.*, t. IV, 1886).

27. — B. Frank. Sind die Wurzelanschwellungen der Erlen und Elœagnaceen Pilzgallen? (*Berichte d. d. bot. Ges.*, t. V, 1887).

28. — Fries. *Systema mycol.*, t. II.

29. — G. Gasparrini. Osservazioni sulla struttura dei tubercoli spongiolari di alcune piante leguminose (*Lette all' Ac. di Napoli*, 1851).

30. — Gilbert et Lawes. État actuel de la question des sources d'azote de la végétation (traduit de l'anglais in *Annales agronomiques*, t. XIV, 1888).

31. — Heiden. Welche Stickstoffquellen stehen den Pflanzen zu Gebote? (*Landwirths. Versuchsst.* — Leipzig, 1874).

32. — Hellriegel. Tageblatt der Naturforscher-Versammlung zu Berlin, 1886.

32 *bis*. — O. Hertwig. Ueber das Vorkommen spindeliger Körper im Dotter junger Froscheier (*Morphologisches Jahrbuch*, t. X, 1884).

33. — Kny. Sitzber. des botan. Vereins der Provinz Brandenburg, 1877.

34. — — Ueber die Wurzelanschwellungen der Leguminosen und ihre Erzeugung durch Einfluss von Parasiten (*Ibid.*, 1878).

35. — Kny. In dem Aufsatze des Herrn Prof. B. Frank ([24]) (*Bot. Zeitung*, t. XXXVII, 1879).

36. — Kolaczeck. Lehrbuch der Botanik, 1856.

37. — Kühn et Rautenberg. Vegetationsversuche in Lösungen (*Landwirths. Versuchsst.*, t. VI, 1864).

38. — Lachmann. Ueber Knollen an den Wurzeln der Leguminosen (*Landw. Mittheil. in Zeitschr. d. königl. Lehranstalt und Versuchsstation Poppelsdorf*, 1856).

Lawes. Voy. Gilbert ([30]).

39. — Lecomte. Observations à ([22]) (*Bull. Soc. bot. de France*, t. XXXV, 1888).

40. — Lohrer. Beiträge zur anatomischen Systematik (*Inaug. Diss.* — Marburg, 1886).

41. — Lundström. Ueber symbiotische Bildungen bei den Pflanzen (*Bot. Centralbl.*, t. XXVIII, 1886).

42. — Lundström. Pflanzenbiologische Studien II. Upsal, 1887.

43. — — Ueber Mycodomatien in den Wurzeln der Papilionaceen (*Bot. Centralbl.*, t. XXXIII, 1888).

44. — Malpighi. *Anatome plantarum; pars sec. De Gallis* (*Opera*, t. Ier, 1687).

45. — Marshall Ward. Cité par Lawes et Gilbert ([30]).

46. — Mattei. Ancora sull' origine della Vicia Faba. — I. Bacteriocecidii. — Bologna, 1887.

Mattirolo. Voy. Buscalioni ([11]).

47. — Molisch. Ueber merkwürdig Proteinkörper in den Zweigen von *Epiphyllum* (*Berichte d. d. bot. Ges.*, t. III, 1885).
48. — Nobbe. Vegetationsversuche in Boden mit localisirten Nährstoffen (*Landwirthsch. Versuchsst.*, 1868).
49. — Persoon. — Traité sur les champignons comestibles. — Paris, 1818.
50. — Pichi. Alcune osservazioni sui tubercoli radicali delle Leguminose (Nota prélim.) (*Atti della Società Toscana di scienze naturali,* 1888).
51. — Pirotta. Per la storia dei batteroidi delle Leguminose (*Malpighia,* 2e année, 1888, fasc. IV). [Paru trop tard pour être utilisé dans ce Mémoire.]
52. — Poiteau. Note sur l'*Arachis hypogea* (*Annales sc. nat.*, 3e série, t. XIX, 1853, pl. XV).
53. — Prillieux. Sur la nature et sur la cause de la formation des tubercules qui naissent sur les racines des Légumineuses (*Bulletin de la Soc. bot. de France,* t. XXVI, 1879).
54. — Prillieux. Observations à (22) (*Bull. Soc. bot. de France,* t. XXXV, 1888).
Rautenberg. Voy. Kühn (37).
55. — Schenk. Opinion verbale rapportée par Frank (24).
56. — Schindler. Zur Kentniss der Wurzelknöllchen der Papilionaceen (*Bot. Centralbl.*, t. XVIII, 1884).
57. — Schindler. — Ueber die biologische Bedeutung der Wurzelknöllchen bei den Papilionaceen (*Journal für Landwirthschaft,* 33e année. — Berlin, 1885).
58. — Schindler. Ueber die Bedeutung der sog. Wurzelknöllchen bei den Papilionaceen (*Œst. landw. Wochenblatt,* 11e année, 1885).
59. — Schultz-Lupitz. Opinion verbale rapportée par Schindler (57).
60. — Schwendener. Opinion verbale rapportée par Kny (35).
61. — Sorauer. Handbuch der Pflanzenkrankheiten, etc.
62. — — Zusammenstellung der neueren Arbeiten über die Wurzelknöllchen und deren als Bakterien angesprochene Inhaltskörperchen (*Bot. Centralbl,* t. XXXI, 1887).
63. — Van Tieghem. Traité de Botanique.
— Voy. Douliot (22).
64. — Tréviranus. Ueber die Neigung der Hülsengewächse zu unterirdischer Knollenbildung (*Bot. Zeitung,* t. XI, 1853).
65. — Troschke. *Wochenschrift der pommerschen ökonomischen Ges.*, 1884; et *Landwirthsch. Versuchsst.*, 1884).
66. — Tschirch. Nachrichten aus dem Klub der Landwirthe, 1887.
67. — — Beiträge zur Kentniss der Wurzelknöllchen der Leguminosen (*Berichte d. d. bot. Ges.*, t. V, 1887).
68. — Tschirch. Ueber die Wurzelknöllchen der Leguminosen (*Ges. naturw. Freunde zu Berlin,* 1887; et *Bot. Centralbl.*, t. XXXI, 1887).
69. — Tulasne. — Fungi hypogæi.
69 *bis*. — Vöchting. Opinion verbale rapportée par Benecke (1).
70. — De Vries. Wachsthumgeschichte des rothen Klees (*Landw. Jahrbücher,* Berlin, t. VI, 1877).
71. — Vuillemin. Les unités morphologiques en botanique (*Assoc. française pour l'avancement des sciences,* t. XV, 1886).

72. — VUILLEMIN. Remarques sur le Mémoire de Lundström (43) (*Journal de botanique*, 1er avril 1888).

73. — WAHRLICH. Beitrag zur Kentniss der Orchideenwurzelpilze (*Bot. Zeitung*, 1886).

74. — A. WIGAND. Entstehung und Fermentwirkung der Bakterien (*Abschnitt II u. III*. — Marburg, 1884).

75. — A. WIGAND. Bakterien innerhalb der geschlossenen Gewebe der knollenartigen Anschwellungen der Papilionaceenwurzel (*Bot. Heft. Forsch. aus dem bot. Garten zu Marburg*, 1887).

76. — WORONIN. Ueber die bei der Schwarzerle und der gewöhnlichen Gartenlupine auftretenden Wurzelanschwellungen (*Mémoires acad. imp. des sc. de Saint-Pétersbourg*, t. X, 1866).

77. — WORONIN. Observations sur certaines excroissances que présentent les racines de l'Aune et du Lupin des jardins (*Annales sc. nat.*, 5e série, t. VII, 1867).

78. — WORONIN. *Plasmodiophora Brassicæ* (*Pringsheims Jahrbücher*, t. XI, 1878).

79. — — Opinion verbale rapportée par Kny (35).

80. — WOLLF. Landwirthsch. Kalender, 1887.

81. — WYDLER. *Flora*, 1860.

LA MARCHE DE L'ABSORPTION

DES

PRINCIPES NUTRITIFS PAR LES PLANTES

ET SON IMPORTANCE

POUR LA THÉORIE DES ENGRAIS

Par le Dr G. LIEBSCHER [1]



PLANTES SARCLÉES

A. — Pomme de terre.

Sur la végétation de la pomme de terre les travaux suivants nous donnent des renseignements importants :

1. — Stöckhardt a analysé des pommes de terre, fumées de cinq manières différentes, dans deux périodes de leur végétation, le 7 août et le 5 septembre[2]. Bien qu'il ait considéré lui-même leur végétation comme normale, nous ne pouvons cependant pas nous servir de ses résultats pour les questions qui nous intéressent ici, parce qu'il a fait ses récoltes à une époque trop tardive. De ses essais il résulte qu'à l'exception de celui où l'on a fumé avec du nitrate de soude il y a eu, à la vérité, pendant la période entre les deux récoltes, une faible augmentation dans la quantité de substance sèche, mais que la quantité absolue de cendres et d'azote a considérablement diminué. Dans l'essai fait avec du guano on trouve, le 5 septembre, seulement 50 p. 100 de la quantité d'azote ayant existé le 7 août. Par les essais de Stöckhardt nous n'obtenons donc pas de renseignements sur la marche suivie par l'absorption des principes nutritifs,

---

1. Voir la première partie de ce mémoire p. 25 et suiv.
2. *Tharander Jahrbuch,* III, p. 299.

mais seulement sur la diminution de ces principes quand la fane meurt (maladie de la pomme de terre).

2. — Les essais d'Anderson[1], qui a employé deux sortes de pommes de terre et quatre fumures différentes sur plusieurs espèces de sol, donnent le même résultat. Dans tous les essais il a trouvé le 13 juillet deux fois plus d'azote que le 21 octobre, ce que nous devons attribuer à l'influence de la maladie de la pomme de terre.

3. — E. Wolff[2] a fait en 1856 et 1857 des essais sur la pomme de terre qui ont mieux réussi que les recherches mentionnées plus haut. A la vérité, lui aussi a fait trop tard la dernière récolte, puisqu'elle a eu lieu à une époque où la fane de la pomme de terre était déjà morte et en très grande partie pourrie ; et, d'autre part, son travail aurait encore plus de valeur, si l'avant-dernière récolte avait eu lieu deux semaines plus tard, parce qu'on peut admettre que jusqu'à ce dernier moment la plante absorbe encore des principes nutritifs. Si l'onentreprenait de nouveaux essais il faudrait absolument récolter un plus grand nombre de plantes pour les analyses. En tout cas, nous devons de la reconnaissance à Wolff, parce qu'il a été le premier à jeter quelque lumière sur la marche suivie par la pomme de terre dans l'absorption des principes nutritifs.

4. — Les recherches les plus complètes sont celles de Kellermann[3], qui a analysé la pomme de terre dans neuf périodes de son développement. Pour le but que nous nous proposons il aurait été sans doute à désirer qu'il y eût eu un plus grand nombre d'analyses pendant la deuxième moitié de la végétation, qui est la période culminante de l'absorption des principes nutritifs, et un moins grand nombre pendant les premières semaines, où la plante vit presque exclusivement des tubercules ensemencés ; de même nous recommandons aux futurs staticiens de ne pas négliger les racines, les fleurs et les fruits.

D'autre part, les recherches de Kellermann ont l'avantage d'un excellent choix d'échantillons, car on a récolté chaque semaine de 50 à 55 trochées sur un champ dont toutes les parties présentaient

1. *Jahresber. f. Agr. Chemie,* 1864, p. 134.
2. *Mittheilungen aus Hohenheim,* V, p. 161 et 193.
3. *Landw. Jahrb.,* VI, p. 647.

une végétation uniforme, pouvant être considérée comme normale, et on a employé cette récolte pour la détermination de la production en substance sèche.

5. — Le travail de Kreusler : *Recherches chimiques-physiologiques sur la croissance de la pomme de terre avec des semences de différentes dimensions.* Dans ce travail on a fait avec grand soin toutes les analyses qu'il est possible de faire dans un laboratoire ; malheureusement les résultats ne peuvent servir à notre but que dans une mesure très restreinte, parce que la végétation des pommes de terre, par suite de circonstances extérieures (maladie), a été tout à fait anormale, de sorte qu'il ne serait pas permis d'en tirer des conclusions générales relativement à l'absorption des principes nutritifs et à la production de la substance chez la pomme de terre. Pour prouver ce qui vient d'être dit, je cite seulement les nombres suivants :

	ESSAI DE KREUSLER.		KELLERMANN.
	Grandes semences.	Petites semences.	
Substance sèche des semences, gr. par 1 plante. . .	24,94	12,51	9,11
— des tubercules le 6 ou 7 août . . .	99,19	62,87	84,13
— — le 10 septembre . .	93,74	33,53	115,88
Formation des tubercules du 6 août — 10 septembre.	— 5,45	— 29,34	+ 31,75
Les semences sont aux tubercules mûrs récoltés . .	1 : 3,8	1 : 2,7	1 : 12,7

Certes il ne se trouvera pas d'agriculteur qui regarde la végétation de ses pommes de terre comme normale, s'il récolte seulement 3,8 ou 2,7 quintaux pour un quintal de semences.

Les dommages, que la maladie a causés dans l'essai de Kreusler, ont donc été très considérables, quoique Werner prétende qu'elle a été relativement bénigne.

Jusqu'au commencement d'août la végétation de la plante semble avoir été assez normale ; cependant je serais disposé à supposer que la nutrition des plantes n'a pas été tout à fait aussi abondante qu'on pouvait s'y attendre d'après la récolte antérieure et la fumure. Cela ressort non seulement de la faible production en tubercules, com-

1. *Landw. Jahrb.*, XV, p. 309.

parée avec les résultats de Kellermann, mais encore des calculs suivants qui ont été exécutés dans d'autres buts. Si l'on cherche, comme nous l'avons fait plus haut dans la comparaison entre l'orge et l'avoine, à calculer combien de grammes d'éléments nutritifs ont été absorbés par jour à différentes époques par 1 kilogr. de substance sèche de la racine dans les essais de Kellermann et de Kreusler, on obtient les nombres suivants :

Un kilogramme de substance sèche de la racine a absorbé par jour :

		AZOTE.		CENDRES.	
		Gr.		Gr.	
Essai de Kellermann.	28 mai. — 4 juin.	15,6		30,3	
	4 juin. — 25 juin	49,9		173,5	
	25 juin. — 2 juillet.	64,8		165,2	
	2 juillet. — 6 août	4,0		19,6	
	6 août. — 10 septembre . .	11,4		17,5	
		a.	*b.*	*a.*	*b.*
Essai de Kreusler.	24 mai. — 3 juin.	13,0	11,4	32,9	27,1
a = grandes semences.	3 juin. — 9 juillet.	19,0	23,3	62,3	67,1
b = petites —	9 juillet. — 7 août.	0,04	0	7,5	9,6

Je ferai remarquer que je possède encore des calculs de ce genre sur plusieurs essais faits avec d'autres plantes culturales, mais que le moment ne me semble pas encore venu pour comparer entre eux à ce point de vue des végétaux d'espèces différentes. Néanmoins il me semble évident qu'il est permis de conclure des nombres ci-dessus, qu'à l'époque du grand besoin de nutrition les plantes de l'essai de Kreusler n'ont pas eu à leur disposition les éléments nutritifs nécessaires pour croître normalement.

En tout cas, même si l'on ne veut attribuer à ce calcul aucune importance, on ne pourra s'empêcher de penser, au moment où l'on se servira des résultats de Kreusler, qu'à partir du commencement d'août ils sont certainement anormaux.

6. — Outre les travaux dont nous venons de parler et qui entrent dans plus ou moins de détails sur la nutrition de la pomme de terre, nous en citerons encore quelques autres, auxquels nous pouvons emprunter des indications sur la marche suivie par la pomme de terre dans la production de la substance sèche.

a. — Fittbogen et Grönland. *Recherches sur la manière dont le tubercule de la pomme de terre élabore les réserves alimentaires*[1].

b. — *Déterminations de la substance sèche,* par König[2]. C'est le travail dont Kellermann a analysé plus tard les matériaux.

c. — Travail de Wildt[3].

d. — Travail de Neubauer[4].

e. — Travail de Hoffmeister[5].

f. — Travail de Petersen[6].

Nous allons considérer maintenant les résultats fournis par les essais précédents, et nous examinerons en premier lieu la production de la substance sèche. Si, pour obtenir une vue d'ensemble, on réunit les résultats de tous les essais, de façon que les produits des récoltes à peu près égales se trouvent placés l'un au-dessous de l'autre, il ressort d'abord — après élimination des essais de Stöckhardt, Anderson et Kreusler à cause des dommages causés par la maladie — qu'il faut également éliminer l'essai de Neubauer, parce qu'il s'est servi d'une sorte de pommes de terre plus précoces que celles des autres auteurs; de même les nombres de Fittbogen ne concordent pas avec ceux des autres, parce que les dates des deux dernières récoltes s'éloignent trop de celles des premiers expérimentateurs. Ensuite les échantillons employés dans l'essai de Wildt du 13 juillet ainsi que dans l'essai de Hoffmeister du 20 et du 30 juillet sont anormaux, comme il est facile de s'en convaincre, en faisant le graphique des divers essais. Après élimination de ces trois nombres, la manière la plus simple d'établir une comparaison entre les résultats des essais consistera à mettre, pour chacun d'eux, le quantum de la substance sèche, récoltée au jour le plus voisin du 10 août, égal 100, et de calculer d'après cela en p. 100 le rendement des autres récoltes, ainsi que nous l'avons fait dans le tableau ci-après. D'après ces indications on peut calculer un résultat moyen pour chaque jour de

1. *Landw. Jahrb.,* V, p. 595.
2. *Ibid.,* V, p. 657.
3. *Ibid.,* V, p. 669.
4. *Ibid,* V, p. 705.
5. *Ibid,* V, p. 719.
6. *Ibid,* V, p. 733.

récolte, et en présence de la similitude dans la marche de la production de la substance sèche dans tous les essais, exprimée en proportions centésimales, on peut bien admettre que le résultat ainsi obtenu représente, d'une façon assez exacte, la marche moyenne de la production de la substance chez les pommes de terre ni précoces ni tardives. Si l'on voulait exprimer par des paroles les chiffres obtenus, on pourrait à peu près dire que, dans les premières cinq semaines après la plantation, la jeune plante vit surtout aux dépens du tubercule mère. Ensuite commence, lentement d'abord pendant deux semaines, puis avec une rapidité croissante, la formation de la substance organique. De même que pour le maïs, la végétation subit un point d'arrêt au commencement de la floraison, mais au bout de huit jours la production de la substance reprend sa marche antérieure et dure jusqu'au moment où les feuilles se fanent et se vident, ce qui dans nos essais arrive entre le milieu et la fin d'août. Mais si les travaux existants et concordants nous permettent facilement de nous rendre compte de la marche de la production de la substance sèche, le cas n'est malheureusement pas le même pour la nutrition. Après ce qui a été dit sur les différentes recherches, le seul procédé à suivre dans notre étude, c'est de prendre comme point de départ les essais de Kellermann qui semblent les plus normaux, et de comparer avec eux les résultats des autres. Nous pouvons nous servir dans ce but soit du tableau suivant (absorption, etc.), soit de la représentation graphique des résultats du travail de Kellermann, pour laquelle cependant la courbe de la substance sèche a été établie d'après les analyses hebdomadaires de Kœnig[1]. Il en ressort que l'absorption commence aussitôt que la plante lève, c'est-à-dire à peu près quinze jours avant le commencement de la production de la substance sèche et qu'elle dépasse ensuite cette dernière jusqu'à peu près la formation des bourgeons à fleurs (2 juillet).

Mais cette observation n'est pas valable pour tous les éléments nutritifs ; l'absorption de l'acide phosphorique pendant cette période

1. Pour la représentation graphique on s'est servi des indications de König relatives à la plante sans racines, fleurs ou fruits, parce que les analyses de Kellermann se rapportent seulement à elles ; mais pour le calcul de la marche moyenne de la production de la substance sèche, on s'est servi de la teneur de la plante entière.

n'est guère plus forte que la production de la substance sèche, dans la dernière semaine elle lui est même relativement inférieure.

De même que chez le maïs, l'approche de la formation des fleurs se fait sentir chez la pomme de terre à peu près une semaine avant, plutôt par la cessation de l'absorption de principes nutritifs que par la diminution dans la production de la substance organique. Dans les cinq semaines de la floraison, de la maturation du fruit et du développement de la fane, la production de la substance organique prédomine fortement. La quantité de potasse reste à peu près la même, l'azote et la chaux ne subissent qu'une faible augmentation, l'absorption de l'acide phosphorique, quoique très considérable, est cependant relativement inférieure à la production de substance. Du commencement d'août jusqu'à l'époque de la maturité des tubercules, la pomme de terre de nos essais est principalement occupée à remplir de provisions ses réservoirs, les jeunes tubercules. Les feuilles et les tiges se vident peu à peu, se flétrissent et se décomposent, de sorte que l'augmentation absolue en substance organique paraît très peu considérable. Au contraire l'absorption redevient très intensive, comme dans la jeunesse de la plante, et c'est l'absorption de l'acide phosphorique qui est relativement la plus forte. Nous pouvons donc distinguer dans la vie de la pomme de terre les quatre périodes suivantes :

1. — La végétation aux dépens du tubercule mère dure à peu près de cinq à six semaines ; à la fin de cette époque l'absorption est très forte, la production de substance à peu près égale à zéro.

2. — Préparation à la floraison. Cette période dure pendant le mois de juin, la production de substance est considérable, mais l'absorption l'est encore davantage.

3. — Floraison et formation du fruit. Après un point d'arrêt dans la végétation, celle-ci reprend vivement, mais l'absorption de substance se ralentit considérablement.

4. — Formation des jeunes tubercules. La formation de nouvelle substance organique est peu considérable ; celle-ci passe de la fane dans les tubercules, et l'absorption est très forte.

Afin de démontrer clairement ces faits par des chiffres, nous calculerons à l'aide des nombres proportionnels de notre tableau quel est le rapport entre l'absorption relative des principes nutritifs et

la production de la substance, en mettant cette dernière égale 100. Pour l'essai de Kellermann nous obtenons les nombres suivants :

	DATE.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	ACIDE phosphorique.
Période 2. .	4 — 25 juin	100	416	346	405	493	146
	25 juin. — 2 juillet.	100	224	230	375	262	69
— 3. .	2 juillet. — 6 août	100	30	18	»	9	64
— 4. .	6 août. — 10 septembre . .	100	156	306	220	220	314

Il s'agit maintenant de répondre à cette question, quelle analogie y a-t-il entre ces résultats du travail de Kellermann et les autres? Le cours de la production de la substance sèche, dans l'essai de Kellermann, concorde parfaitement avec celui que nous avons généralement vu suivre ailleurs. L'absorption des principes nutritifs, dans les essais de Wolff et de Kreusler, ne peut être utilisée, ainsi que nous l'avons constaté, qu'avec de certaines restrictions, pour une étude comparative. Nous avons transformé les nombres de Kreusler, afin de les rendre comparables au moins pour la période antérieure au mois d'août, en nous fondant sur l'hypothèse, certainement arbitraire, qu'il existe entre les nombres obtenus en fait par Kreusler le 7 août et le résultat final empêché par la maladie, le même rapport qui existe dans les essais de Kellermann entre la récolte du 6 août et celle du 10 septembre. Alors, comme le montrent les chiffres du tableau, les deux essais de Kreusler et celui de Kellermann présenteront, pour les périodes 1, 2, 3, une grande analogie dans le rapport entre la production de la substance et l'absorption des principes nutritifs.

Les essais de Wolff concordent également avec ceux de Kellermann, en tant qu'à la fin de juin et au commencement de juillet ils présentent une proportion semblable dans les quantités relatives de substance produite et de principes absorbés. Comme dans l'essai de 1856 la fane n'a pas été analysée à l'époque de la maturité des tubercules, et que, dans celui de 1857, jusqu'à 55 p. 100 des principes nutritifs trouvés le 28 août ont disparu, les données de ces

essais ne peuvent avoir une grande importance pour l'époque suivante. Mais ce qui pourrait démontrer une concordance avec les résultats de Kellermann, c'est que Wolff, en 1857, a constaté pour la période entre le 28 août et le 2 octobre une augmentation de 7 p. 100 en acide phosphorique, tandis que 8 p. 100 de la substance organique, existant antérieurement, ont disparu par suite de la décomposition de la fane. Comme la quantité des tubercules a considérablement augmenté pendant cette période, il y a eu certainement production de substance nouvelle, la perte subie en réalité dans les feuilles et dans les tiges doit avoir été beaucoup plus grande, et elle doit nécessairement avoir causé simultanément une perte importante en principes nutritifs et conséquemment aussi en acide phosphorique. Mais alors il résulte de là que l'augmentation en acide phosphorique doit avoir été bien plus considérable que celle indiquée par le nombre ci-dessus.

Quelque peu probants que soient donc les autres essais, leurs résultats pourront servir plutôt à corroborer qu'à réfuter l'essai de Kellermann.

Aussi longtemps que de nouveaux essais, faits avec des pommes de terre non malades, n'auront pas contredit les recherches de Kellermann, il faudra nous en tenir aux résultats de ces dernières pour expliquer comment la pomme de terre se comporte à l'égard de l'engrais.

Quelles relations y a-t-il entre les exigences connues de la pomme de terre en fait d'engrais et la marche suivie par elle dans l'absorption des principes nutritifs et la production de la substance ?

Nous savons que dans la culture de la pomme de terre le fumier de ferme produit surtout d'excellents effets ; ce qui s'accorde bien avec le fait qu'en août et en septembre, alors que le fumier d'étable est décomposé par la chaleur du soleil, la pomme de terre ressent encore un vif besoin de tous les éléments nutritifs importants, et en outre avec la longue durée de sa végétation qui lui permet d'utiliser des engrais qui agissent lentement.

Mais la pomme de terre accepte aussi avec reconnaissance des engrais facilement solubles, particulièrement des engrais azotés, dans les sols légers des engrais potassiques, et dans tous les sols des

phosphates (à ces derniers elle préfère cependant l'azote). Voilà pourquoi nous observons également chez elle un besoin intensif d'aliments dans la jeunesse. Mais je ne saurais dire pourquoi dans la seconde période la direction de la courbe est beaucoup plus verticale et celle de l'acide phosphorique beaucoup plus horizontale que celle de l'azote ; peut-être des recherches ultérieures expliqueront-elles ce fait ? En admettant que d'autres essais confirment les résultats de Kellermann et en négligeant les opinions actuellement prédominantes, on pourrait se hasarder à interpréter la direction de ces courbes de la manière suivante : pour croître normalement, la pomme de terre a besoin surtout d'une fumure de fumier d'étable relativement riche en acide phosphorique, avec addition, dans la plupart des cas, d'une faible quantité de nitrate de soude, et, sur les sols pauvres en potasse ou en chaux, d'un apport abondant de ces deux matières. On pourrait aussi conjecturer que la pomme de terre est mieux adaptée que les céréales à utiliser l'acide phosphorique de préparations difficiles à dissoudre, telles que les scories Thomas-Gilchrist, etc.

Production de la substance sèche de la pomme de terre (Nombres proportionnels).

DATE approximative.		KÖNIG. 1	WILDT. 2	PETERSEN. 3	HOFFMEISTER. 4	WOLFF 1856. 5	WOLFF 1857. 6	MOYENNE. Essai 1-3.	MOYENNE. Essai 1-6.	MAXIMUM moyen = 100.
Avril :	30. .	6.2	»	»	»	»	»	6.2	6.2	6.1
Mai.	14. .	5.7	»	»	»	»	»	5.7	5.7	5.6
	21. .	5.6	»	»	»	»	»	5.6	5.6	5.5
	28. .	5.7	»	»	»	»	»	5.7	5.7	5.6
Juin.	4. .	4.8	9.1	4.1	»	»	»	6.0	6.0	5.9
	11. .	6.0	9.0	4.3	1.1	»	»	6.4	(5.1)[1]	(5.0)[1]
	18. .	9.3	11.3	5.9	3.4	»	»	8.8	7.5	7.4
	25. .	16.3	22.5	11.1	4.1	17.7	»	16.6	14.3	14.1
Juillet.	2. .	26.2	31.4	17.1	26.2	»	14.6	24.9	23.1	22.8
	9. .	48.7	37.0	24.3	39.5	»	»	36.3	37.4	37.0
	16. .	50.9	41.4	37.6	»	34.5	»	43.3	41.1	40.6
	23. .	73.0	70.1	72.6	(64.0)[2]	»	»	71.9	71.9	71.0
	30. .	86.8	(90.5)[2]	83.5	(51.71)[2]	»	56.5	85.1	75.6	74.7
Août.	6. .	97.3	81.7	90.0	74.1	»	»	89.3	85.8	84.7
	13. .	96.9	76.9	99.3	92.5	»	»	91.0	91.4	90.2
	20. .	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.0
	27. .	98.3	107.0	98.7	»	»	»	101.3	101.3	100.0
Septembre.	3. .	102.0	»	85.7	»	»	»	93.8	93.8	92.6
	10. .	100.4	»	89.3	»	»	»	94.8	94.8	93.6
	17. .	»	»	85.9	»	»	»	85.9	85.9	84.8

1. Ces chiffres sont sujets à controverse, puisque la diminution provient seulement de l'essai 4.
2. Nombres à laisser de côté ; voy. texte.

Absorption des principes nutritifs par la pomme de terre en p. 100 des quantités maximums.

PÉRIODE DE VÉGÉTATION.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.								
ESSAI DE E. WOLFF 1856.										
	27 juin	?	17.7	15.9	42.3	22.6	28.3	38.4	29.0	23.7
	17 juill.	20	31.5	33.1	60.3	37.7	57.6	64.2	63.4	46.7
	18 août	32	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	27 sept.	40	?	?	?	?	?	?	?	»
ESSAI DE E. WOLFF 1857.										
Tubercules gros comme une petite noisette . . .	1er juill.	45 à 50	14.6	13.9	28.2	22.9	32.0	26.4	20.6	18.4
Tubercules gros comme une grosse noisette. . .	29 juill.	28	56.5	56.2	64.1	64.7	61.0	66.8	62.8	50.2
La fane commence à se flétrir	28 août	30	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	93.0
La fane est en grande partie pourrie.	2 oct.	35	91.0	92.2	68.2	65.0	93.5	47.3	44.2	100.0
ESSAI DE KELLERMANN.										
	30 avril	»	6.1	6.3	4.4	3.1	8.6	0.2	»	3.1
	14 mai	14	5.6	5.8	4.5	3.1	8.4	0.3	»	3.3
	21 mai	7	5.6	5.7	4.8	3.4	8.5	0.6	»	?
	28 mai	7	5.6	5.6	4.9	4.1	8.8	1.3	»	3.0
	4 juin	7	4.8	4.5	5.8	5.6	9.1	3.4	»	4.3
	25 juin	21	15.2	13.7	44.0	37.4	46.3	48.7	»	17.7
9 juillet. Commencement de la floraison	2 juill.	7	25.0	23.0	61.8	58.7	81.1	73.0	»	24.1
	6 août	35	90.0	90.5	85.2	71.0	79.1	79.1	»	67.4
	10 sept.	35	98.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	»	100.0
ESSAI DE KREUSLER.										
a. — *Grosses semences.*										
Semences	7 mai	»	12.1	12.5	7.0	7.8	»	»	»	»
10 jours après le lever . .	3 juin	10	10.7	10.9	8.1	9.2	»	»	»	»
Floraison	9 juillet	36	38.1	35.6	72.4	70.8	»	»	»	»
Maturité.	7 août	29	90.0	90.5	85.2	71.0	»	»	»	»
b. — *Petites semences.*										
Semences	7 mai	»	9.0	9.5	4.4	4.0	»	»	»	»
10 jours après le lever . .	3 juin	10	7.9	8.1	5.0	4.8	»	»	»	»
Floraison	9 juillet	36	41.6	42.2	71.3	73.7	»	»	»	»
Maturité.	7 août	29	90.0	90.5	85.2	71.0	»	»	»	»

B. — Turneps (Brassica rapa).

Les deux travaux suivants nous renseignent sur la marche suivie par le turneps dans l'absorption des principes nutritifs.

1. Celui d'Anderson[1], qui a fait des recherches sur des turneps ayant crû sur un sol léger, sablonneux, fortement fumé avec du fumier d'étable, et qui a déterminé les éléments importants pour nous dans quatre périodes différentes, de telle façon qu'on peut à l'aide de ces déterminations calculer les quantités existantes par acre.

2. Les recherches de Wunder[2], qui a recueilli ses matériaux : dans la première année, sur un sol argileux non fumé ; dans la seconde année, sur le même sol, mais avec lequel on avait mélangé une couche de sable haute d'un pouce et demi. Malheureusement, dans la première année d'essai la quantité de la récolte n'a pas été déterminée, de sorte que Wunder calcule seulement d'après les résultats de la seconde année le rendement par acre, et même ici il ne communique pas les nombres indiquant le poids de la récolte obtenue.

Les deux travaux donnent le même résultat pour la première moitié du développement, c'est-à-dire pour la période s'étendant depuis les semailles jusqu'à environ mi-août (3 mois), ou bien jusqu'à environ 6 semaines après le moment où les boutures ont été enlevées de la planche de semis pour être transportées en plein champ. Pendant cette période la croissance est très lente et est caractérisée par ce fait que pendant tout ce temps l'absorption des principes nutritifs est à peu près parallèle à la production de substance sèche. Dans la suite, cependant, les résultats des deux travaux diffèrent l'un de l'autre. Dans l'essai d'Anderson nous voyons qu'en août la production de la substance organique prédomine et qu'en septembre c'est l'absorption des principes nutritifs. Dans le deuxième essai de Wunder nous voyons, au contraire, le parallélisme se continuer entre la production et l'absorption jusqu'à la fin de la végétation.

---

1. *Journal of Agriculture of the highland and agricultural Society of Scotland*, 1860, p. 306. Voy. aussi *Jahresber. f. Agricult. Chemie,* III, p. 117.

2. *Versuchsstationen,* III, p. 19.

La raison de cette différence serait-elle que, dans l'essai d'Anderson, les plantes avaient été fortement fumées avec du fumier d'étable, tandis que dans celui de Wunder il n'y a pas eu de fumure? Cela est très possible, et il est permis de conclure de là que le turneps se montre si reconnaissant pour du fumier d'étable (quand d'ailleurs les conditions climatériques lui agréent, comme c'est le cas en Angleterre) parce qu'avec cette sorte de fumure le diagramme suit la direction que nous remarquons dans l'essai d'Anderson, ou, en d'autres termes, parce que le fumier d'étable rend possible une absorption relativement forte pendant la dernière période de la végétation. Quand nous avons vu que la fumure avec le nitrate de soude a une action si favorable sur l'orge, parce qu'elle permet à cette plante d'absorber dans sa jeunesse une assez grande quantité d'azote, nous en avons conclu que c'était là la marche normale suivie par l'orge dans l'absorption des éléments nutritifs, par conséquent celle qui était la plus favorable à son développement normal. Nous serions tenté de conclure également de ce qui a été dit plus haut, que la direction des courbes dans l'essai d'Anderson était la direction normale pour le turneps. Mais, à cause du petit nombre des recherches faites jusqu'ici, cette conclusion n'est pas absolument certaine. En tout cas il se pourrait que d'autres circonstances eussent contribué à produire cet écart entre les courbes d'Anderson et celles de Wunder, car, d'après tout ce que nous avons vu pour les céréales, il n'est pas vraisemblable que la fumure seule produise de pareilles différences, quelque disposés que nous soyons à admettre cette opinion. Du moins d'après les essais directement comparables faits jusqu'ici sur l'effet de l'engrais, il est vraisemblable que l'engrais peut bien changer la direction de la courbe propre à une plante, de façon que l'absorption, déjà relativement forte pendant une époque, paraisse encore plus forte. Mais il n'existe pas encore d'essai qui nous permette de supposer que nous puissions, par des engrais agissant plus ou moins lentement à des époques avancées ou reculées, produire arbitrairement une absorption relativement plus forte en proportion de la production de substance sèche.

Si maintenant nous comparons les deux essais au point de vue des différents éléments nutritifs, nous trouvons que le rapport entre la

substance organique produite (100) et les principes nutritifs absorbés, d'après les nombres proportionnels du tableau suivant, peut être exprimé numériquement de la façon suivante :

	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
Anderson jusqu'au 11 août.	100	91	121	67	118	89	108
Wunder jusqu'au 17 août .	100	140	131	94	165	145	116

La quantité de principes nutritifs absorbée en plus pendant la jeunesse est donc relativement faible ; c'est en première ligne de la chaux (magnésie ?) et de l'azote, en seconde ligne de l'acide phosphorique. En outre, cette absorption se répartit sur une longue période, car dans l'essai de Wunder il a fallu trois mois pour que 11.3 p. 100 de la substance organique fussent formés ou, ce qui revient au même, pour que 14.8 p. 100 de l'azote total fussent absorbés.

Pour le graphique du turneps on a choisi l'essai d'Anderson ; nous rappellerons cependant que, d'après ce qui a été dit plus plus haut, il est permis de supposer que les résultats de cet essai sont exacts, mais cette exactitude n'a pas été confirmée par d'autres recherches.

Turneps (Brassica rapa). — Absorption des principes nutritifs en pour-cent des quantités maxima.

DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
	Jours.								
				1. — ESSAI D'ANDERSON.					
7 juillet	ca.25-30	0.4	0.4	0.2	0.9	0.1	0.3	0.2	0.2
11 août	35	30.8	30.9	23.2	37.4	20.8	36.3	27.5	33.2
1er septembre .	21	74.4	79.2	55.2	49.5	54.6	59.6	51.4	56.4
5 octobre . . .	34	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
				2. — ESSAI DE WUNDER.					
17 août	80	11.9	11.3	15.8	14.8	10.6	18.6	16.3	13.1
21 septembre. .	35	33.0	32.3	38.3	38.3	37.0	38.8	39.8	30.8
12 octobre . . .	21	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

C. — Betterave à sucre et betterave à fourrage (Beta).

Quelque nombreux que soient les travaux sur la betterave à sucre, nos connaissances touchant la marche qu'elle suit dans l'absorption des principes nutritifs, sont encore bien restreintes. Nous possédons sur cette question les recherches suivantes :

1. Le travail le plus détaillé a été fait par Bretschneider[1] qui, en 1859, a analysé la betterave dans six périodes différentes de développement. On a fait chaque fois la récolte d'une perche carrée couverte de 116-144 plantes, et on a choisi parmi ces dernières celles qui étaient nécessaires pour les analyses.

2. Bientôt après, Hoffmann[2] a publié les résultats d'un essai dans lequel il a analysé la betterave à sucre dans trois périodes différentes. Mais tandis que Bretschneider a analysé complètement tous les principes minéraux, Hoffmann s'est contenté de déterminer, parmi les substances qui nous intéressent ici, la substance sèche, les cendres et l'azote.

Le travail présente en outre un défaut très regrettable ; en effet, le 30 juin il a été pris seulement 10 plantes, le 31 août 2, et le 30 octobre une seule pour calculer le poids de la récolte par *Joch* (34^a,0727) et pour fournir les matériaux de l'analyse. D'après ce nombre d'échantillons, il n'est guère possible d'attribuer à ce travail une grande valeur démonstrative.

3. Hoffmeister[3] a déterminé le rendement de la betterave en substance sèche et en cendres dans cinq périodes différentes. Les conditions difficiles au milieu desquelles il a dû exécuter son travail l'ont malheureusement forcé de restreindre beaucoup le nombre des betteraves destinées à être analysées (2 plantes dans les dernières récoltes).

4. A. Girard[4] a publié, sur la culture de la betterave, un très vaste essai qu'il a fait avec de grandes caisses portant chacune 60 bette-

---

1. *Mittheil. des landw. Central-Vereins für Schlesien,* XI, p. 94.
2. *Versuchsstat.,* IV, p. 203.
3. *Landw. Jahrb.,* V, p. 709.
4. *Compte rendu,* t. CII, p. 1324, 1489 et 1565. Voy. aussi t. CIII, p. 72 et 159.

raves, de sorte qu'après avoir enlevé la terre par des lavages, il a pu recueillir les radicelles les plus fines.

Dans son travail il s'est surtout proposé de rechercher la formation du sucre ; aussi, pour le but que nous avons en vue ne pouvons-nous lui emprunter que la teneur en substance sèche et en principes minéraux. Il a divisé ces derniers en solubles et en insolubles. Comme je suppose que par principes minéraux insolubles il faut entendre l'acide silicique et le sable, j'ai utilisé seulement les données pour les principes minéraux solubles.

Les analyses de Girard ont eu lieu à dix époques différentes ; elles ont surtout un très grande valeur parce qu'elles nous fournissent aussi des renseignements sur la quantité des radicelles.

Au nombre des travaux qui ont déterminé, à des intervalles d'une semaine, la substance sèche de la betterave, sans entrer dans la composition de cette dernière, il faut citer les recherches :

5 et 6 de Moritz. . . .	*Landw. Jahrb.*,	VII, p. 745, et VIII, p. 662.
7 de Wildt	—	VII, p. 526.
8 de Brimmer . . .	—	VIII, p. 623.

Le deuxième travail de Moritz s'occupe de la deuxième année de la végétation, et celui de Brimmer nous fournit un exemple très instructif pour nous montrer combien la végétation de la betterave souffre si, pendant sa jeunesse, le terrain où elle pousse est envahi par les mauvaises herbes. Celles-ci étaient si fortes, par suite d'un retard dans les semailles, etc., qu'on a pu distinguer les betteraves seulement six semaines après qu'elles eurent levé. Leur développement pendant la jeunesse a donc été très faible, de façon que l'essai ne peut pas servir à nous représenter la croissance normale de la betterave.

Si nous voulons essayer de résumer autant que possible les résultats des travaux ci-dessus, nous pouvons seulement songer à réunir les résultats obtenus à des dates à peu près semblables, car pendant la première année de son développement la betterave n'a pas des époques physiologiquement caractérisées, comme le sont celles de l'épiage, de la floraison et de la maturité pour le blé. Nous avons cherché tout d'abord à trouver la marche moyenne de la pro-

duction de la substance sèche d'après les essais 1, 3, 4, 5 et 7. Comme les essais ne finissent pas simultanément, le problème pouvait seulement être résolu de la façon suivante : nous avons pris une époque commune à tous, la plus tardive possible, que nous avons admise = à 100 ; nous avons calculé pour chaque essai les résultats de chaque analyse en centièmes du chiffre de cette date; ensuite nous avons tiré la moyenne des séries des nombres proportionnels (cf. le tableau de la page suivante) et nous avons enfin converti ces nombres moyens de façon que leur maximum représentât la valeur de 100.

Les chiffres correspondant à peu près au 25 juillet, ainsi qu'au 12 septembre jusqu'au 3 octobre, ne cadrent pas complètement avec les séries obtenues, parce qu'ils représentent, non pas les particularités du plus grand nombre des essais calculés, mais seulement les résultats du plus petit nombre de ces essais.

La figure que nous obtenons en faisant le graphique des nombres de la dernière colonne de notre tableau est très simple. Au commencement de juillet nous avons 1 p. 100, vers le milieu d'octobre nous avons 100 de la substance sèche produite dans la plante; nous n'avons qu'à joindre ces points par une ligne droite, et nous voyons la marche de la production de la substance sèche telle qu'elle ressort de ces nombres moyens là. Les écarts sont très faibles et se bornent à ce que pendant le premier tiers de cette période la courbe monte un peu moins et pendant le dernier tiers un peu plus que nous venons de le dire; mais ces différences n'ont qu'une importance très restreinte. Le travail de E. Wolff nous conduit exactement au même résultat pour la betterave fourragère.

Mais l'absorption des principes minéraux nous montre une autre marche, que nous ne pouvons malheureusement pas suivre sur un nombre suffisant de recherches, afin d'en juger d'une façon certaine. Si nous examinons d'abord la marche suivie par l'absorption des principes minéraux relativement à la production de la substance sèche, parce que sur cette question nous avons proportionnellement le plus de matériaux, nous arrivons au résultat suivant.

Nous trouvons en pour-cent des quantités maxima dans les essais de :

	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.
Bretschneider, le 16 juillet	13.8	33.9
Hoffmeister, le 20 juillet	12.1	27.5
Girard, le 2 juillet	12.0	30.9
Moyennes.	12.6	30.8

J'ai cru devoir choisir une date antérieure dans l'essai de A. Girard, à cause de la différence entre le climat doux de la France et le rude printemps d'Insterburg ainsi que de la Marienhütte, différence qui se manifeste par le développement plus rapide de la jeune betterave dans l'essai de Girard.

A l'époque où à peu près la moitié de la substance organique totale est produite, nous trouvons dans les mêmes trois essais la proportion suivante entre les quantités relatives de la substance organique et des principes minéraux absorbés :

	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.
Bretschneider. Moyennes entre le 9 et le 31 août.	46.6	75.8
Hoffmeister, le 22 août.	48.2	71.0
Girard, le 10 août.	48.8	72.5
Moyennes.	47.9	73.1
Il a donc été formé ou absorbé. . . .	35.3	42.3

Dans la suite nous constatons que les choses ne se sont pas passées de la même manière. Dans l'essai de Bretschneider nous voyons d'abord que l'absorption des principes minéraux suit une marche à peu près parallèle à la production de la substance organique, de sorte que la quantité totale des principes minéraux est déjà absorbée, quand les 3/4 de la substance organique seulement ont été produits. Dans les deux autres essais l'absorption des principes minéraux diminue encore davantage que dans la deuxième de nos périodes fixées arbitrairement plus haut, de sorte que le maximum de la teneur en principes minéraux apparaît en même temps que le maximum de la substance organique. Comme cela s'accorde avec l'essai douteux de Hoffmann et avec le résultat obtenu par Wolff pour la betterave d'Oberndorf, je serais disposé à considérer la marche progressive

ultérieure de l'absorption des principes minéraux comme la marche normale. Nous arriverions donc à ce résultat que l'absorption des principes minéraux pendant la jeunesse de la betterave est beaucoup plus forte que la production de la substance organique, et qu'ensuite l'intensité relative de l'absorption des principes minéraux diminue peu à peu jusqu'à l'automne. La période du besoin relativement considérable d'éléments nutritifs dure à peu près aussi longtemps que la période où se fait le sarclage, et le besoin d'éléments minéraux pendant cette époque est d'autant plus fort que la plante est plus jeune.

Ce que nous venons de dire relativement à la somme des éléments constitutifs des cendres est certainement vrai également des différents aliments minéraux et de l'azote, du moins sous les rapports essentiels, car nous trouvons dans les essais de Bretschneider et de Wolff les relations suivantes entre la production de substance organique et l'absorption de principes nutritifs, si nous faisons les données relatives de la première (voy. *Tableau de la marche de l'absorption des principes nutritifs*) égales à 100 :

	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
Bretschneider. Depuis la levée jusqu'au 20 juill.	100	210	196	173	178	357	217
Wolff. Depuis la levée jusqu'au 30 juillet	100	141	168	144	161	60	149
Bretschneider. Depuis le 20 juill. jusqu'au 31 août.	100	131	107	157	99	105	125
Wolff. Depuis le 30 juillet jusqu'au 28 août . . .	100	85	91	84	96	113	59
Bretschneider. Depuis le 30 sept. jusqu'au 16 oct.	100	117	61	79	38	206	122
Wolff. Depuis le 28 août jusqu'au 6 oct	100	94	77	94	77	107	111

Ces deux essais montrent certainement des différences considérables qui doivent être attribuées à la différence des périodes d'expériences et à celle des variétés. Ils présentent cependant ce caractère commun que, dans la jeunesse, la plante a éprouvé un plus grand besoin d'acide phosphorique, d'azote, de chaux et de magnésie que de potasse, et ils nous poussent à nous demander s'il n'y a pas lieu de considérer également comme quelque chose de caractéris-

tique ce plus grand besoin d'acide phosphorique en automne qu'ils nous révèlent l'un et l'autre.

Ce que nous savons donc jusqu'aujourd'hui de la marche suivie par la betterave à sucre dans l'absorption des principes nutritifs s'accorde parfaitement, à mon avis, avec les besoins d'engrais que nous lui connaissons. Car nous voyons :

a) Un besoin plus grand d'éléments nutritifs pendant la jeunesse.	α) La nécessité d'employer avant la récolte des engrais faciles à dissoudre.
b) La betterave manifeste surtout un grand besoin d'acide phosphorique et d'azote.	β) Dans la pratique, les meilleurs résultats sont atteints par l'emploi du nitrate de soude et du superphosphate.
c) Si nous comparons les courbes des betteraves avec celles des céréales, nous remarquons une direction relativement plus verticale dans la courbe de la potasse chez les céréales que chez la betterave.	γ) La betterave ne tient pas autant que le blé à une fumure potassique.
d) L'absorption des éléments nutritifs dure bien plus longtemps chez la betterave que, par exemple, chez le blé d'été.	δ) La betterave nous est bien plus reconnaissante que le blé d'été pour du fumier d'étable agissant lentement.

e) Si de nouveaux essais devaient démontrer que le besoin relativement plus fort d'acide phosphorique en automne est caractéristique pour cette plante, la fumure avec du fumier d'étable, dont l'emploi est si général, se trouverait encore mieux justifiée, car chez toutes les autres plantes qui réclament du fumier d'étable, telles que le colza, la pomme de terre, le turneps, les légumineuses, nous trouvons en fait qu'il se manifeste surtout dans les dernières périodes de la végétation un besoin plus fort de tel ou tel principe nutritif.

Cependant il serait à désirer que de nouvelles recherches fussent faites, car le petit nombre de travaux que nous possédons jusqu'ici ne nous permet pas de nous former un jugement certain sur les con-

ditions de la végétation de la betterave. Ainsi nous ne savons encore rien du tout sur l'absorption des principes nutritifs pendant la seconde année, ni sur l'influence que la manière de cultiver une plante exerce sur son besoin d'engrais ou sur sa faculté d'utiliser l'engrais.

Pour la betterave à sucre, par exemple, la question dont nous nous occupons est encore compliquée par le fait que nous sommes obligés de la fumer, non pas selon les exigences de sa nature, mais en vue d'une production anormale de sucre. Ce fait influe nécessairement sur la marche de l'absorption; or, les observations faites jusqu'ici ne nous fournissent aucun renseignement sur cette influence.

Nous avons donné le graphique d'après le seul essai de Wolff, et nous avons choisi cet essai, parce qu'il possède sur celui de Bretschneider l'avantage que l'absorption de la substance sèche a eu lieu telle que nous avons appris à la connaître comme résultat moyen de cinq essais; de plus, sa courbe de magnésie est exempte des fautes qui existent probablement dans celle de Bretschneider.

Tableau.

Betterave fourragère ordinaire. — Marche de l'absorption des principes nutritifs en pour-cent des quantités maxima.

DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
	Jours.								
ESSAI DE BRETSCHNEIDER.									
20 juillet. . . .	86	15.2	13.8	33.9	27.0	23.9	24.6	49.3	30.0
9 août.	20	32.8	31.1	54.2	54.9	46.5	51.4	50.6	51.1
31 août.	22	64.8	62.2	97.4	78.6	100.0	72.4	99.9	90.4
15 septembre. .	15	79.0	77.2	100.0	92.1	99.7	100.0	100.0	86.5
30 septembre. .	15	85.4	85.6	79.5	91.3	86.4	78.0	53.4	82.4
16 octobre. . .	16	100.0	100.0	96.3	100.0	97.7	83.4	83.1	100.0
ESSAI DE HOFFMANN.									
30 juin.	»	5.7	4.9	11.3	6.7	»	»	»	»
31 août	»	38.7	39.2	34.6	36.1	»	»	»	»
30 octobre. . .	»	100.0	100.0	100.0	100.0	»	»	»	»

CARACTÉRISTIQUE des plantes.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES solubles.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES solubles.
		Jours.					Jours.			
ESSAI DE HOFFMEISTER.						ESSAI DE GIRARD.				
6 jours après la levée.	14 juin	6	0.02	0.01	0.01	8 juin	?	0.6	0.5	1.6
	21 juin	7	0.4	0.28	0.9	19 juin	11	3.1	2.5	7.2
	28 juin	7	0.8	0.63	1.8	2 juillet	13	13.9	12.0	30.9
	6 juillet	8	3.7	3.2	7.8	15 juill.	13	26.4	24.1	45.8
	13 juill.	7	6.3	5.5	12.9	29 juill.	14	41.0	39.5	55.2
	20 juill.	7	13.8	12.1	27.5	10 août	12	51.0	48.8	72.5
	30 juill.	10	23.3	21.2	40.5	24 août	14	63.2	61.9	76.4
	6 août	7	27.5	25.2	46.0	5 sept.	12	68.6	67.3	78.2
	14 août	8	41.0	38.2	63.0	18 sept.	13	81.1	79.3	99.8
	22 août	7	50.5	48.2	71.0	1er oct.	13	100.0	100.0	100.0
	6 sept.	15	68.0	65.1	90.5					
Mûrs 14.4 p. 100 du sucre dans le suc. .	15 oct.	39	100.0	100.0	100.0					

Betterave d'Oberndorf d'après Wolff.

DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
	Jours.								
30 juillet . . .	?	20,6	19,6	27,7	32,9	28,3	31,6	11,7	29,2
28 août	29	55,3	55,1	58,0	65,3	58,0	65,5	51,8	50,2
6 octobre . . .	39	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Betterave à sucre. — Marche de la production de la substance sèche en pour-cent de la quantité maximum.

	MORITZ.	WILDT.	HOFFMEISTER.	GIRARD.	BRETSCHNEIDER.	MOYENNE.	NOMBRES MOYENS en p. 100 du maximum.
30 mai.	0.04	0.01	»	»	»	0.02	0.01
6 juin	0.05	0.07	»	1.1	»	0.4	0.13
13 —	0.5	0.3	0.75	»	»	»	0.17
20 —	2.5	1.3	1.3	6.0	»	»	0.9
27 —	8.0	3.1	2.8	»	»	»	1.4
4 juillet	27.5	6.1	13.5	27.3	»	»	5.8
11 —	39.0	»	23.0	»	»	»	9.6
18 —	52.2	30.6	50.2	51.8	46.6	»	14.4
25 —	61.5	35.4	»	»	»	»	15.0
1er août	79.3	77.0	81.9	80.3	»	»	25.0
8 —	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	»	31.1
15 —	100.0	127.0	149.2	»	»	»	39.0
22 —	117.1	171.0	181.6	123.7	»	»	46.3
29 —	129.3	167.6	»	»	197.3	»	51.1
5 septembre.	166.2	199.1	247.4	134.1	»	186.7	58.0
12 —	147.1	»	»	»	240.8	193.9	»
19 —	174.4	»	»	158.7	»	166.5	»
26 —	204.1	»	»	»	260.3	232.2	»
3 octobre	233.5	»	»	196.0	»	209.7	»
10-16 octobre.	296.3	»	365.4	»	304.6	322.1	100.0

D. — Chicorée.

Pour la chicorée nous ne possédons qu'un seul travail, celui de H. Schulze (*Versuchsstat.*, IX, p. 203), qui peut être regardé comme un modèle en ce qui concerne le choix des échantillons et la méthode

analytique suivie. Dix récoltes successives ont été analysées; les résultats, convertis en proportions centésimales, se trouvent consignés dans le tableau suivant :

Chicorée. — Marche de l'absorption des principes nutritifs en proportions centésimales.

DATE.	JOURS de la période à partir de la levée.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
13 juin	ca.30	0.4	0.4	1.0	1.3	1.1	1.2	1.9	0.6
23 —	10	1.9	1.8	4.3	5.4	4.7	4.8	7.0	2.7
3 juillet	10	8.1	7.7	15.2	18.0	14.5	15.8	19.1	10.1
13 —	10	21.4	20.6	35.5	39.5	35.9	34.0	41.2	26.8
23 —	10	43.0	41.8	65.5	66.0	64.7	67.2	76.0	49.2
2 août.	10	60.6	59.9	74.3	81.2	73.5	69.8	82.5	62.0
12 —	10	75.2	74.7	86.2	84.4	77.5	93.7	88.8	71.7
22 —	10	88.6	88.3	93.2	98.1	83.4	100.0	100.0	84.6
1er septembre. .	10	99.7	99.9	99.3	100.0	93.5	97.5	98.0	94.7
11 — . .	10	100.0	100.0	100.0	95.1	100.0	99.8	96.2	100.0

Le rapport de la production de substance organique à l'absorption des principes nutritifs est d'après les nombres ci-dessus :

	JOURS de la période à partir de la levée.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
Depuis la levée jusqu'au 13 juin	ca.30	100	250	325	275	300	475	150
Depuis le 13 juin jusqu'au 3 juillet . . .	20	100	195	229	184	201	241	131
Depuis le 3 juillet jusqu'au 23 juillet . .	20	100	148	141	148	151	166	115
Depuis le 23 juillet jusqu'au 22 août. . .	30	100	60	69	40	70	50	76

Le 22 août, à peu près la quantité totale d'azote, de chaux et de magnésie a été absorbée, tandis que l'acide phosphorique et la potasse continuent d'être absorbés dans les mêmes proportions qu'auparavant. L'absorption de ces deux derniers éléments n'a pas même cessé dans les dix derniers jours où la substance organique n'a plus augmenté.

La marche de la nutrition présente donc dans la chicorée une certaine ressemblance avec celle que nous avons observée dans la betterave à sucre. Par conséquent il doit exister une analogie dans les exigences des deux plantes relativement à la fumure. D'après ce qu'on lit et d'après ce qu'on entend dire, cette concordance existe en réalité. Mais nous ne possédons pas d'essais de fumure qui nous donnent à cet égard des renseignements certains.

E. — Chou pommé.

Weinhold (*Versuchsstat.*, VI, p. 490) a fait des recherches sur le chou pommé, malheureusement son champ d'essai n'a pas été fumé conformément aux exigences de cette plante qui est typique pour la préférence qu'elle accorde au fumier d'étable. Il dit au commencement de son travail : « Le champ était fumé avec du guano Baker et a fourni en somme une récolte à peine moyenne. » Comme dans ses analyses il avait moins en vue l'absorption des principes nutritifs que la formation des éléments pouvant servir d'aliments, il a déterminé seulement parmi les substances qui nous occupent ici la substance sèche, les principes minéraux et l'azote; d'après les nombres qu'il a obtenus, nous avons calculé la marche de l'absorption des principes nutritifs, en pour-cent des quantités maxima, comme suit[1] :

DATE.	JOURS de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.
9 juillet	ca.50	15.0	14.8	16.3	25.4
23 —	14	41.4	41.3	41.6	47.5
18 août	26	73.7	73.5	75.3	67.9
23 septembre	36	93.5	93.0	97.1	100.0
22 octobre	29	100.0	100.0	100.0	93.2

Nous trouvons donc ici, à travers toutes les périodes, à peu près un parallélisme entre la production de la substance organique et

1. Le 23 juillet et le 18 août, toutes les plantes ont été défeuillées ; c'est pourquoi dans les récoltes suivantes on a ajouté la substance enlevée auparavant aux récoltes obtenues directement avant de faire la conversion en proportions centésimales.

l'absorption des éléments minéraux, tandis qu'il semble exister un besoin un peu plus grand d'azote dans la plante encore toute jeune, ainsi que pendant la 4e période (18 août au 23 septembre). Les traits caractéristiques de la plante qui préfère le fumier d'étable se manifestent donc ici tels que nous les avons vus se manifester auparavant chez d'autres végétaux. Mais il est probable que, si le chou pommé est cultivé dans du fumier frais, ces traits ressortiront encore plus nettement, et que la végétation sera plus normale qu'elle ne l'a été dans l'essai de Weinhold.

F. — Trèfle rouge.

Sur la végétation du trèfle rouge nous possédons toute une série de travaux dont il ressort que la marche de la végétation du trèfle est sujette à de plus grandes fluctuations que celle de la plupart des autres plantes culturales qui ne sont pas aussi exigeantes sous le rapport de l'humidité du sol. D'après les résultats de ces travaux, il semble que les recherches sur le trèfle rencontrent de grandes et de nombreuses difficultés tenant aux circonstances suivantes. Dans la première année de la végétation, les semences lèvent souvent d'une façon très inégale, de sorte que l'on a dans un même champ des plantes de différents âges; en outre, la végétation de la jeune plante varie tellement que Hoffmeister, par exemple, a récolté le 11 septembre 1878 à Insterburg, comme rendement de tout un été, 50gr,6 de substance sèche pour 100 plantes, tandis que Mutschler a récolté le 11 septembre 1877 à Munster, pour 100 plantes, 627 grammes de substance sèche, c'est-à-dire 12 fois et demie autant qu'Hoffmeister. C'est un fait connu de tous les agriculteurs que, selon les conditions météorologiques, le trèfle peut fournir la première année une bonne coupe, mais qu'il peut aussi, après un été sec, avoir un aspect tellement misérable qu'il faut le retourner à la charrue. La situation est la même dans la seconde année, et elle est encore plus critique dans la troisième. Si les circonstances sont favorables, nous pouvons avoir deux coupes de trèfle splendide, tellement serré, qu'il faut se hâter de le récolter, parce qu'autrement il s'affaisse sous son propre poids et pourrit au pied ; et dans une autre année, les plantes végètent misérablement

jusqu'à l'époque de la floraison pour se dessécher ensuite. Du trèfle vigoureux présente surtout de grandes difficultés pour le choix des échantillons, car ce choix exige une très grande surface ou un très grand nombre de plantes, parce qu'il est impossible de porter un jugement sur des plantes isolées en peuplement serré.

Si, comme il est arrivé le plus souvent, les recherches ne concernent que la substance aérienne, alors la marche suivie par celle-ci dans sa nutrition ne peut pas servir pour exprimer la marche de l'absorption des principes nutritifs dans le sol. L'appareil radiculaire et les parties lignifiées de la tige du trèfle, plante pérenne, contiennent une si grande quantité de matières nutritives, qu'elles peuvent en céder une partie aux organes nouveaux de la plante aérienne dans les moments où la sécheresse de la surface du sol rend l'absorption difficile, tandis que la longue racine pivotante extrait cependant du sous-sol autant d'eau qu'il est nécessaire pour rendre possible une faible production de substance organique. En outre, si dans les recherches on néglige les feuilles qui se flétrissent et tombent dans les périodes sèches, on commet encore une faute importante, puisque d'après Kraus (*Botanische Zeitung,* 1873), l'azote et l'acide phosphorique des feuilles caduques ne retournent pas, avant leur chute, dans le corps de la plante. Une grande quantité de ces deux éléments nutritifs échappe donc à l'analyse par suite de la chute des feuilles en été ; à quoi il faut ajouter une immense perte en potasse qui n'a pas encore été bien expliquée jusqu'ici. Il ne faut donc pas s'étonner si sur le trèfle (et probablement il en est de même pour toutes les plantes pérennes) nous rencontrons de plus grandes différences dans la marche de la nutrition que chez les plantes annuelles. Je crois que pour cette raison nous devons déterminer la marche normale de l'absorption des principes nutritifs et de la production de substance chez le trèfle uniquement d'après les essais où la végétation n'a pas été interrompue par des périodes de sécheresse, et il faut nous rappeler constamment que, dans la réalité, il se présente des écarts importants, puisque le plus souvent les saisons ne sont pas complètement normales.

Passons maintenant aux différentes recherches.

1. — E. Wolff (*Mittheilungen aus Hohenheim,* V, p. 205) a analysé

en 1857 du trèfle rouge d'un an à trois époques de végétation: *a*) quand il était haut comme la main ; *b*) au moment de la formation des bourgeons; *c*) en pleine floraison. Pendant la première période, la plante avait souffert de la sécheresse, pendant la seconde elle avait poussé vigoureusement, de sorte que la tige avait déjà avant la floraison une longueur de 2-3 pieds. Dans la troisième période, nous trouvons de nouveau, probablement par suite du défaut d'humidité, un développement relativement faible, car pendant la seconde période il a été produit, dans l'espace de trois semaines, en chiffres ronds, 2 700 livres de substance sèche par arpent, tandis que pendant le même espace de temps de la troisième période il n'en a été produit que 1300 livres sur la même étendue. Nous observons en outre une absorption de potasse en apparence très faible et même une déperdition de ce principe pendant la troisième période, ce qui pourrait trouver son explication (si ce n'est dans le choix des échantillons) dans ce que nous avons dit plus haut (diminution dans l'absorption des éléments et perte de matière par suite de la mort des feuilles).

2.—En 1859 et en 1860, Ulbricht (*Versuchsstationen,* III, p. 241) a analysé des plantes de trèfle rouge de deux années différentes, chacune à trois époques de la première et de la deuxième coupe. Il tenait avant tout à étudier les transformations des divers éléments dans les différents organes vivants. Mais, dès les premières récoltes, il trouva qu'il était impossible d'arriver par cette voie à la connaissance des proportions quantitatives de l'absorption, et, dans l'intérêt du but principal qu'il se proposait dans son travail, il a donc mis de côté toutes les parties desséchées de la plante. En outre, au point de vue où nous nous plaçons, la première coupe de l'année 1859 seule a de l'importance pour notre but. Pour la seconde coupe, nous n'avons qu'une seule époque désignée pour les trois états de végétation; la récolte a été faite *a*) le 26 juin, *b*) le 26 juin, *c*) le 1er juillet, et on ne sait pas combien de temps s'est écoulé depuis l'enlèvement de la première coupe.

D'autre part, dans les deux séries d'essais de l'année 1860 les matériaux obtenus à l'époque de la pleine floraison avaient été couchés à terre par la pluie et étaient déjà pourris au pied; on ne peut donc pas considérer cette récolte comme étant normale.

Enfin les quatre séries d'essai ont toutes ce défaut que la première récolte a eu lieu un peu tard, à l'époque de la formation des bourgeons.

3. — Dietrich (*Landw. Zeitsch. f. Kurhessen*, 1864, p. 216 et suiv.) a fait une série de recherches très instructives dans les années 1858-1860. Voici ce qu'il dit à propos des matériaux des essais de la première année (*loc. cit.* p. 219) : par suite de la sécheresse bien connue de l'année en question, la semence avait mal levé et au printemps suivant la végétation était peu dense. Le temps dans la suite n'était guère propre à favoriser la végétation du trèfle, qui resta clairsemé et court, etc., etc. Les pluies survinrent seulement en juillet et en août; ce que nous devons nous rappeler en appréciant la deuxième coupe.

L'essai III de Dietrich a particulièrement bien réussi. Dans cet essai, ses recherches ont porté sur du trèfle qui avait été semé en 1858 au milieu de seigle, et qui, après l'enlèvement de ce dernier, s'était encore bien développé par suite d'un temps favorable en juillet et en août, ce qui a été constaté par quatre analyses. En 1859 le même champ a fourni, grâce à un temps excessivement favorable du commencement à la fin, une très belle récolte, dont le développement progressif a été contrôlé à huit époques différentes par des analyses minutieuses. L'essai de la troisième année avec du trèfle de deux ans a également bien réussi et a été utilisé par Dietrich pour étudier, comme Ulbricht l'avait fait, les transformations que subissent les différents organes de la plante du trèfle.

4. — Sous le titre : *Recherches sur les racines*, Heiden a publié une série d'essais, dans lesquels il a déterminé la teneur de la substance aérienne et souterraine du trèfle à quatre époques différentes (*Bericht über die Arbeiten der Versuchsstation zu Pommritz*, 1868-1869, Leipzig, 1870). Le but principal de ces essais a été, comme le titre l'indique, de déterminer la diffusion des racines dans le sol dans des conditions normales. En prévision de ce but, Heiden a dû consacrer moins de soin aux questions qui nous intéressent ici spécialement, de sorte que les résultats de ce travail ne peuvent pas être regardés comme décisifs quand il s'agit de répondre à cette question : quelle est la marche suivie par le trèfle rouge dans l'absorption des éléments

nutritifs aux différentes époques de sa végétation? Dans chacun de ses essais Heiden a fait extraire un prisme de terre ayant cinq pieds de longueur, un pied de largeur et quatre pieds de profondeur; ensuite il a retiré de cet immense bloc de terre, au moyen d'un lavage, toutes les racines qui s'y trouvaient. Comme les racines et les parties aériennes ont été soigneusement examinées, ce travail aurait pour notre étude un prix inestimable, si nous pouvions admettre que Heiden a eu chaque fois dans son bloc de terre un échantillon moyen exact du champ de trèfle étudié. Mais tel n'a pas été le cas; cela ressort des indications qu'il donne sur le nombre des plantes récoltées de cette manière, car au moment des recherches il s'est trouvé :

Le 13 mai, sur 5 pieds carrés	. . . . .	146 plantes.
Le 28 mai, —	. . . . .	212 —
Le 5 juin, —	. . . . .	218 —
Le 15 juillet, —	. . . . .	111 —

Évidemment on ne peut pas davantage considérer la différence dans la teneur de 111 et de 218 plantes comme augmentation ou diminution des plantes qui poussent sur cinq pieds carrés d'une partie quelconque du champ, qu'on ne peut calculer la différence dans le rendement par plante en l'un et l'autre cas, afin d'obtenir ainsi des nombres comparables; car, dans un cas, les plantes avaient à leur disposition presque deux fois autant d'espace que dans l'autre.

A mon avis nous pouvons seulement essayer de comparer entre elles la deuxième et la troisième récolte, parce que dans l'une et l'autre on a recueilli à peu près le même nombre de plantes. Le résultat d'une telle comparaison pourrait être représenté de la façon suivante, si l'on désigne l'augmentation ou la diminution de la troisième récolte relativement à la seconde par + ou —

		SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
Herbe.	par arpent	+ 1888.0	— 10.5	+ 9.4	— 43.9	+ 15.5	+ 2.9	— 2.2
	p. 100 de la 2e récolte.	+ 37.4	— 2.4	+ 4.9	— 41.5	+ 13.8	+ 7.1	— 7.0
Racines	par arpent	— 241.6	— 1.1	— 12.2	+ 2.6	+ 1.4	— 9.3	+ 1.9
	p. 100 de la 2e récolte.	— 8.7	— 0.7	— 12.6	+ 9.4	+ 5.0	— 43.8	+ 11.5

A l'aspect de ces chiffres on est disposé, je crois, à supposer, ou bien que dans l'intervalle entre les deux récoltes il y a eu des pertes considérables de substance, qui peuvent expliquer la diminution de 41,5 p. 100 de la quantité totale de la potasse de la seconde récolte de parties aériennes, ou bien que le sol offrait des différences notables dans les places d'essai. En tout cas il est tellement impossible d'apercevoir un principe fondamental dans les changements subis par la substance, dans l'intervalle entre la deuxième et la troisième récolte, que je n'ose pas me servir de ces résultats pour répondre aux questions qui nous intéressent ici. Ceux qui s'occuperont plus tard de cette étude verront par notre tableau que cinq pieds carrés de terrain ne sont pas une garantie suffisante pour le bon choix des échantillons moyens.

5. — Wagner (*Berichte über die Arbeiten der Landw. Versuchsstationen zu Darmstadt*, 1874) communique un essai fait avec du trèfle rouge, mais dont le but n'était pas, à proprement parler, de fournir une réponse aux questions qui nous occupent ici. C'est plutôt un essai de culture pratique afin de rechercher combien de fourrage est récolté au milieu et vers la fin de la période de floraison du trèfle rouge, quand on suit des méthodes usuelles.

Quel temps a-t-il fait pendant ces essais? quelle influence ont exercée les pluies tombées sur le fourrage au moment de deux récoltes sur trois? M. Lahr, qui a fait ces essais dans sa propriété, a-t-il consacré au choix des places d'expériences, à la récolte des échantillons, aux pesées le soin exigé par la petitesse de la superficie (224 mètres carrés)? Nous n'en savons rien et Wagner n'en sait guère davantage puisque les récoltes avaient eu lieu avant son arrivée à Darmstadt.

Nous ne pouvons faire contre l'essai aucune objection nettement formulée, mais le résultat ressemble, sous beaucoup de rapports, aux résultats obtenus dans des conditions qui n'étaient pas tout à fait normales, tandis qu'il s'écarte considérablement de ceux qui ont été obtenus dans les essais faits dans des conditions absolument normales. Il ne nous reste donc qu'à considérer ces résultats comme n'étant pas tout à fait normaux, jusqu'au moment où de nouveaux travaux nous auront mieux éclairé sur la question que nous étudions.

6. — Dans un des essais avec du trèfle rouge exécutés sur l'ordre du Ministère de l'agriculture, Fittbogen a déterminé dans la première année, outre la substance sèche, la teneur de chaque récolte en azote. Les plantes de cet essai se sont développées d'une manière égale et ont dépassé, sous le rapport de la production finale en matière sèche, celles des autres essais que nous allons mentionner, quoique cependant leur développement n'ait pas eu lieu de façon à ce qu'elles eussent pu fournir en automne une récolte pleine.

7. — Enfin il faut mentionner une série de déterminations de substance sèche exécutées, à des intervalles d'une semaine, sur l'ordre du Ministère de l'agriculture en Prusse. Ce sont les travaux suivants.

A. — **Trèfle rouge dans la première année de végétation.**

Essai de Wildt-Kuschen.	*Landw. Jahrb.*, V, p. 669.
— Fittbogen-Dalme	Voy. plus haut, n° 6.
— Caplan-Regenwalde	*Landw. Jahrb.*, VI, p. 801.
— Hoffmeister-Insterburg.	— VI, p. 809.
— Mutschler-Münster	— VII, p. 513.
Deux essais de Hoffmeister-Insterburg	— VIII, p. 629.
— de Mutschler et Krauch-Münster .	— VIII, p. 632.
Fittbogen-Dalme.	— VIII, p. 645.

B. — **Trèfle rouge dans la deuxième année de végétation.**

Essai de Wildt-Kuschen.	*Landw. Jahrb.*, VI, p. 813.
— de Fittbogen-Dalme	— VI, p. 849.
— Brimmer et Wittelshöfer-Regenwalde .	— VII, p. 516.
— Hoffmeister-Insterburg.	— VII, p. 523.
— Mutschler et Krauch-Münster	— VIII, p. 632.
— Fittbogen-Dalme	— VIII, p. 649.

Si nous essayons maintenant, comme nous le faisons d'habitude, de présenter un aperçu général des résultats numériques de tous ces travaux, nous étudierons tout d'abord la marche de la production de la substance sèche, en nous basant sur les recherches mentionnées les dernières et qui ont été exécutées d'après un même plan. D'après ce qui a été dit plus haut, cette marche est plus difficile à déterminer pour le trèfle que pour toute autre plante. Son ralentissement ou son accélération relatifs semblent dépendre moins de la

période de végétation ou de l'état de développement des feuilles que des conditions météorologiques.

Dans certains essais nous trouvons la végétation la plus intense peu de temps avant la floraison, dans d'autres pendant la floraison et la maturité des semences; dans la jeunesse aussi la végétation peut être très active, mais comme l'appareil foliacé n'a pas encore tout son développement, la quantité d'acide carbonique décomposé est naturellement inférieure à celle qui sera décomposée plus tard.

Pour avoir une image moyenne de la végétation d'après les sept essais mentionnés, nous procéderons de la façon suivante. Pour les plantes de la première année de végétation, nous prendrons, dans chaque essai, le poids de la récolte d'une date quelconque, par exemple, du jour le plus voisin du 21 août; nous l'admettrons = 100, et nous calculerons le rendement des autres récoltes en p. 100 de celle que nous avons choisie comme base. A l'aide des séries des nombres proportionnels ainsi obtenus, on calculera alors tout simplement la moyenne arithmétique pour chaque jour de récolte. Le nombre moyen le plus élevé qu'on ait obtenu, et qui est formé encore par la plus grande moitié des essais existants, est à son tour désigné par 100, et les autres sont exprimés en proportions centésimales. Ainsi on obtient une image de la marche moyenne de la production de la substance sèche, à la formation de laquelle chaque essai a une part égale. J'ai cru devoir préférer, du moins ici, ce procédé au simple calcul de la moyenne arithmétique pour chaque jour de récolte, puisque avec cette dernière méthode, telle que nous l'avons employée pour le maïs, par exemple, le petit nombre des essais, présentant des chiffres extraordinairement élevés pour les récoltes, aurait obtenu une influence trop prédominante. Voici le résultat de ce calcul :

DATE.	SUBSTANCE sèche p. 100 de la quantité maximum.	DATE.	SUBSTANCE sèche p. 100 de la quantité maximum.	DATE.	SUBSTANCE sèche p. 100 de la quantité maximum.
12 juin	2.2	17 juillet. . . .	19.0	21 août.	73.7
19 —	4.5	24 —	24.4	28 —	88.7
26 —	7.4	31 —	32 6	4 septembre. .	87.3
8 juillet	12.4	7 août.	40.3	11 — . .	100.0
10 —	16.2	14 —	55.2		

Mais ce nombre proportionnel à 100 pourrait, d'après l'ensemble des poids de récolte obtenus dans ces essais, varier entre 50 et 600 grammes de substance sèche pour 100 plantes, et, par conséquent, ne pourrait pas facilement être exprimé en un nombre moyen.

J'ai cru devoir, afin d'être complet, faire un calcul analogue pour la deuxième année de végétation, quoique je ne puisse, comme je l'ai déjà dit, attribuer une grande importance aux résultats obtenus. Pour augmenter le nombre des essais j'ai cru, en outre, devoir comprendre dans mes calculs les nombreuses analyses de Dietrich, quoiqu'elles n'aient pas été faites à des intervalles d'une semaine.

De plus j'ai cru, en ce cas, procéder d'une façon plus correcte en ne coordonnant pas tous les essais d'après la plus grande similitude de leurs dates, mais en admettant, comme base de mon calcul, une période de végétation nettement caractérisée, le commencement de la floraison. Ici aussi je pense devoir me borner à communiquer le résultat final de mes calculs, afin de ne pas accumuler un trop grand nombre de chiffres.

SEMAINES avant le commencement de la floraison.	SUBSTANCE SÈCHE en p. 100 des quantités maximums.	SEMAINES après le commencement de la floraison.	SUBSTANCE SÈCHE en p. 100 des quantités maximums.
7	8.0	1	77.4
6 [1]	»	2 [2]	(76.1)
5	15.8	3 [1]	»
4	21.8	4	100.0
3	26.9	»	»
2	36.4	»	»
1	46.7	»	»
Floraison.	61.4	»	»

1. Seulement la plus petite moitié des essais présente ici des indications.
2. Si on ne voit pas ici l'augmentation qui doit être considérée comme la règle générale, c'est uniquement parce qu'il manque deux essais qui présentent des chiffres très élevés pour cette époque.

Quelle est donc pour le trèfle rouge la relation entre la production de la substance sèche et l'absorption des principes nutritifs ?

Pour répondre à cette question, nous devons, d'après ce qui a été dit plus haut sur chaque recherche en particulier, nous en tenir en premier lieu aux résultats obtenus par Fittbogen et Dietrich dans l'essai II-IV et leur comparer ensuite les résultats des essais de Wolff, Wagner et Dietrich (essais I) ; nous séparerons, bien entendu, les

expériences faites dans la première et celles faites dans la deuxième année de végétation.

Pour la végétation pendant la première année, je donne d'abord les nombres que nous obtenons dans les essais de Dietrich et de Fittbogen, en faisant le maximum de chaque principe = à 100.

Essai III de Dietrich.

DATE.	HAUTEUR des plantes en centimètres.	NOMBRE des feuilles.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
2 août.	10-12	4-5	7.3	11.3	8.2	11.2	11.8	12.0	12.1
2 septembre . . .	15-18	4-6	63.4	73.9	66.9	71.2	72.8	74.6	73.2
9 — . . .	18-20	5-6	78.6	78.2	78.5	77.3	77.5	75.0	80.0
4 octobre.	22-28	6-8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Dans cet essai les semailles ont été faites fin avril dans un champ de seigle, de sorte que le trèfle, qui avait poussé jusque dans la troisième semaine de juillet, a été enlevé en plus grande partie avec le seigle.

Essai de Fittbogen.

CARACTÉRISTIQUE des plantes.	DATE.	SUBSTANCE sèche.	AZOTE.	CARACTÉRISTIQUE des plantes.	DATE.	SUBSTANCE sèche.	AZOTE.
5 feuilles.	15 juin.	2.6	4.5		10 août.	49.4	48.3
	22 —	8.1	12.5		17 —	52.0	53.8
8 feuilles	29 —	9.4	11.5	Hauteur : 27 centimèt.			
Commencement du tallement.	6 juill.	15.7	17.7	Commencement de la floraison.	24 —	66.1	65.6
	13 —	22.4	24.0		31 —	67.1	73.9
Hauteur : 20 centimèt.	20 —	37.0	34.8	Hauteur : 36 centimèt.	7 sept.	77.9	64.9
	27 —	48.4	44.8		14 —	100.0	100.0
	3 août.	18.8	15.5		21 —	79.8	84.7

Ces nombres parlent si clairement qu'ils n'ont guère besoin de commentaire ; tout est frappant ici: le parallélisme entre la production de la substance sèche et l'absorption de tous les principes nutritifs qui sont pris en considération dans les recherches sur les engrais.

Le plus que nous trouvons ici dans la première récolte ne me

semble pas mériter de fixer notre attention, à cause de son peu d'importance relativement aux quantités absolues de son poids, et parce que nous pouvons le considérer dans l'essai de Dietrich comme un produit du rhizome, tandis que dans les essais de Fittbogen la teneur en azote de la semence en explique la présence.

Étudions maintenant la première coupe du trèfle d'un an et deux ans; dans ses essais III et IV, Dietrich nous fournit les matériaux pour cette étude dans les séries de nombres suivantes :

En p. 100 de la quantité maximum :

CARACTÉRISTIQUE des plantes.	HAUTEUR en centimètres.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
			Jours.							
ESSAI III. 1859. TRÈFLE DE 1 AN.										
4-5 feuilles.	10-12	15 mars	?	0.9	1.8	1.4	1.9	1.7	1.6	1.8
5-6 feuilles.	18-20	11 avril	27	2.8	5.5	4.0	6.2	4.6	4.5	5.1
Formation de la tige . .	25-30	30 avril	19	4.5	7.4	5.9	8.6	6.5	5.6	7.1
	40-43	10 mai	10	6.5	10.7	7.4	11.5	10.0	9.0	10.5
Formation des bourgeons	55-60	20 mai	10	16.1	23.6	15.5	25.0	22.1	20.9	23.6
Commencement de la floraison.	60-65	30 mai	10	31.0	37.7	29.1	35.8	37.1	34.5	39.0
Pleine floraison	65-75	8 juin	9	71.3	69.2	10.5	85.9	79.3	79.1	79.9
Fin de la floraison . . .	65-75	25 juin	17	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ESSAI IV. 1860. TRÈFLE DE 2 ANS.										
5-6 feuilles.	15-18	31 mars	?	1.6	5.0	5.1	4.7	5.3	5.0	4.2
Formation de la tige . .	30-35	26 avril	26	6.3	10.0	9.7	10.5	9.9	9.4	8.3
Bourgeons.	50-55	19 mai	23	49.4	51.0	45.0	53.6	49.9	49.2	47.8
Commencement de la floraison.	60-65	1er juin	13	66.5	78.3	70.8	80.8	76.6	73.3	74.0
Pleine floraison	70-80	16 juin	15	83.7	97.0	89.3	99.8	95.9	94.4	95.5
Fin de la floraison . . .	70-80	30 juin	14	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
MOYENNE DES DEUX ESSAIS [1].										
4-6 feuilles.		Fin mars	?	1.7	4.3	3.9	4.4	4.2	5.5	3.8
Formation de la tige . .		Fin avril	29	5.4	8.7	7.8	9.5	8.2	7.5	7.7
Bourgeons.		20 mai	22	32.7	37.3	30.2	39.3	36.0	35.0	35.7
Commencement de la floraison.		Commencement de juin	12	48.2	58.0	49.9	58.3	56.8	53.9	56.5
Pleine floraison		Mi-juin	13	80.0	83.1	79.9	92.8	87.6	86.7	67.7
Fin de la floraison . . .		Fin juin	15	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

1. Pour la première période on a pris dans l'essai III la moyenne du 15 mars et du 11 avril.

Les chiffres de ces essais nous redisent ce que ceux de la première année de végétation nous avaient déjà indiqué.

Voyons maintenant la marche de la végétation à la seconde coupe; un essai de Dietrich nous fournira encore les matériaux nécessaires pour cette recherche :

CARACTÉRISTIQUE des plantes.	HAUTEUR, en centimètres.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
			Jours.							
4-5 feuilles	10-12	30 juin	18	10.0	15.6	17.3	16.9	12.7	12.3	22.2
Tige avec bourgeons . .	35-40	17 juill.	17	17.6	27.6	23.8	28.9	25.5	24.5	39.5
Commencement de la floraison	50-55	2 août	16	46.8	56.6	55.1	57.6	54.0	52.7	80.7
Pleine floraison.	55-60	19 août	17	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

A l'occasion de cet essai il faut nous rappeler que l'auteur indique qu'en 1858 le trèfle avait mal poussé jusqu'à mi-juillet à cause de la sécheresse. Nous voyons qu'au moment où la végétation souffre par suite de conditions atmosphériques défavorables, la nutrition ne suit plus la marche que nous avons apprise à connaître, de sorte qu'il y a plus de principes absorbés que de substance sèche produite. Cette absorption peut encore être augmentée par l'influence de la coupe, car il a établi par des essais de Weiske, Wolff, etc., qu'en augmentant le nombre des récoltes du trèfle on enlève au sol plus de protéine, et en conséquence une plus grande quantité de tous les principes nutritifs. Il en résulte qu'en règle générale la jeune plante du trèfle absorbe le maximum de principes nutritifs, sans qu'il faille cependant, comme on l'a fait jusqu'ici, exagérer la quantité absorbée.

Mais dans la suite nous retrouvons, en temps de végétation normale, ce parallélisme déjà observé plus haut entre la production de substance sèche et l'absorption d'aliments.

Nous passons maintenant à l'essai I de Dietrich et aux essais de Wolff et de Wagner, dont je donne également les résultats exprimés en nombres proportionnels. Ici nous avons aussi affaire à une végétation qui n'a pas été régulière, mais qui a été de temps en temps

troublée par un temps défavorable, le plus souvent par la sécheresse.

CARACTÉRISTIQUE des plantes.	HAUTEUR en centimètres.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES nutritifs.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
			Jours.							
ESSAI I DE DIETRICH.										
4-5 feuilles	7-8	19 avril	?	4.1	7.0	8.8	7.1	5.8	4.1	6.7
Naissance des tiges . . .	16-20	8 mai	19	17.9	30.0	31.5	25.0	30.3	33.5	27.4
Bourgeon à fleur	30-35	26 mai	18	36.8	60.7	58.0	62.3	54.5	64.7	58.7
Commencement de la floraison	35-40	5 juin	10	63.4	91.4	83.7	86.8	96.8	91.5	77.3
Pleine floraison.	50	12 juin	7	84.9	94.3	100.0	88.6	97.8	94.3	89.3
Fin de la floraison. . . .	»	30 juin	18	94.2	100.0	91.9	99.0	100.0	100.0	99.6
Maturité des semences .	»	17 juill.	18	100.0	100.0	90.2	100.0	99.8	100.0	100.0
ESSAI DE E. WOLFF.										
Haut comme la main . .	»	2 mai	?	10.4	14.2	23.3	13.4	14.0	11.6	25.1
Formation des bourgeons	2-3 pieds	25 mai	23	69.0	97.8	96.4	100.0	100.0	86.7	92.6
Pleine floraison.	»	15 juin	21	100.0	100.0	100.0	95.0	100.0	100.0	100.0
Avant la floraison. . . .	»	22 mai	?	63.1	87.8	93.6	»	»	»	»
Pleine floraison.	»	13 juin	22	88.7	87.8	98.4	»	»	»	»
Fin de la floraison . . .	»	1er juill.	18	100.0	100.0	100.0	»	»	»	»

Nous savons, d'après l'indication des auteurs, que dans les essais dont nous avons parlé en premier lieu, le trèfle avait poussé d'une façon tout à fait normale, et que Dietrich se plaint à propos de l'essai I que les plantes ont souffert de la sécheresse aussi bien dans l'année précédente que pendant l'année des recherches. Il en est de même de l'essai de Wolff; à propos de celui de Wagner, nous avons fait nos réserves plus haut (voy. n° 7).

Je ne crois pas que le moment soit encore venu d'émettre des hypothèses pour expliquer les écarts que nous constatons ici dans la marche de la nutrition, mais je pense qu'on peut appliquer à nos essais ce que Hellriegel (*Grundlagen des Ackerbaues. Braunschweig 1883,* p. 622 et 599) dit à propos de la relation entre la production de la substance sèche et l'évaporation de l'eau, augmen-

tation de l'évaporation et, peut-être, comme conséquence, augmentation de l'absorption de principes nutritifs toutes les fois qu'il y a perturbation dans le développement de la végétation.

Dans ces conditions, nous pouvons admettre, je crois, que la marche de la nutrition, telle que nous avons appris à la connaître pour le trèfle rouge, et telle qu'elle est représentée sur nos diagrammes peut être regardée comme la marche normale. Mais s'il existe une relation entre la nutrition d'une plante culturale et ses exigences en engrais, cela ne peut être que pour une plante se développant normalement. Or l'expérience pratique nous enseigne que le trèfle, comme tous les végétaux, pousse mieux sur un sol riche en éléments nutritifs que sur un sol appauvri, mais qu'il n'éprouve aucun besoin d'une fumure spéciale, que l'agriculteur, par conséquent, ne peut pas lui attribuer la faculté d'utiliser des engrais spéciaux.

D'autre part, nos diagrammes nous montrent que si le trèfle rouge croît dans des conditions normales, il existe un parallélisme presque complet entre la production de la substance sèche et l'absorption de tous les éléments nutritifs importants. N'est-il pas alors naturel de penser que ces deux phénomènes dérivent l'un de l'autre, et de dire que le trèfle réclame seulement la fumure du sol dans le sens expliqué plus haut, c'est-à-dire qu'il n'a pas besoin d'une fumure directe avec des engrais facilement solubles, rapidement assimilables, parce que dans les conditions normales, l'absorption de tous les principes nutritifs importants a lieu parallèlement à la production de la substance sèche ? Si le trèfle se montre reconnaissant pour des engrais agissant indirectement, par exemple pour le gypse, cela peut seulement être expliqué parce que ces engrais agissent pendant longtemps non pas comme un aliment spécial, mais comme dissolvants de tous les principes nutritifs ou de la plupart de ceux qui existent dans le sol. Je dirai ici que j'ai aussi calculé en proportions centésimales l'absorption de l'acide sulfurique chez le trèfle, et qu'il m'a été impossible d'arriver à la conviction que le trèfle manifeste à un moment quelconque un besoin spécial d'acide sulfurique. Cette manière de voir s'accorde complètement avec ce que l'expérience pratique nous a appris depuis longtemps, à savoir que le gypse

produit son plus grand effet seulement chez les papillionacées qui dans leur nutrition se comportent de la même façon que le trèfle, ou du moins d'une façon analogue. Il se peut néanmoins que, dans certaines circonstances, il se produise une augmentation dans l'absorption des principes nutritifs, mais cette augmentation n'a aucun effet utile; on n'a donc aucune raison de l'introduire intentionnellement par des engrais artificiels.

Teneur en substance sèche de 100 plantes de trèfle rouge (grammes); 1re année de végétation.

DATE approximative.	WILDT[1].	FITTBOGEN.	CAPLAN.	HOFFMEISTER.	MUTSCHLER.	HOFFMEISTER.	HOFFMEISTER.	MUTSCHLER.	FITTBOGEN.
10 mai.	»	»	»	»	»	»	»	0.50	»
17 mai.	»	»	»	»	»	»	»	0.90	»
24 mai.	»	»	»	»	»	»	»	2.10	»
29 mai.	»	»	»	»	»	»	»	3.80	1.50
5 juin.	0.90	»	»	»	»	»	»	5.00	3.30
12 juin.	2.20	»	»	0.33	»	0.37	0.17	11.00	5.30
19 juin.	4.50	·2.90	»	0.89	»	0.85	0.33	19.30	11.20
26 juin.	?	8.90	»	2.22	»	1.94	0.45	37.60	12.10
3 juillet.	9.50	10.30	9.61	4.60	»	3.46	1.02	69.50	28.50
10 juillet.	26 80	17.30	17.20	7.12	63	4.48	1.65	54.80	33.50
17 juillet.	30.30	24.60	17.68	8.73	84	6.08	3.75	51.80	33.80
24 juillet.	27.80	40.70	30.12	12.47	84	8.52	5.55	65.60	36.20
31 juillet.	28.30	53.20	44.84	28.68	141	13.40	6.90	71.40	43.50
7 août	36.60	53.70	63.92	41.90	239	16.35	8.76	65.40	52.70
14 août	61.80	54.40	81.92	46.00	279	46.25	24.00	86.30	59.20
21 août	83.90	57.20	82.84	75.66	492	66.30	26.80	217.20	61.20
28 août	84.90	72.70	85.32	78.54	468	76.80	34.60	»	76.20
4 septembre. . .	87.70	73.80	86.80	»	487	77.20	44.20	»	67.10
11 septembre. . .	»	85.70	88.04	»	627	»	50.60	»	64.70
18 septembre. . .	»	110.90?	83.28	»	633	»	»	»	»
28 septembre. . .	»	87.80	87.76	»	»	»	»	»	»
2 octobre	»	»	80.32	»	»	»	»	»	»

1. Voy. plus haut, no 7. A.

Teneur en substance sèche de 100 plantes de trèfle rouge (grammes); 2e année de végétation.

DATE approximative.	WILDT[1].	WILDT.	FITTBOGEN.	BRIMMER.	BRIMMER.	HOFFMEISTER.	MUTSCHLER.	FITTBOGEN.
8 avril	22.22	Deuxième coupe.	»	»	Feuilles sèches de l'essai précédent.	»	58	»
15 avril	24.10		»	»		»	60	»
22 avril	53.50		»	»		»	154	61.60
29 avril	43.64		48.20	»		27.45	»	60.40
6 mai.	65.96		50.20	22		28.45	»	91.50
13 mai.	72.88		73.60	27		38.95	»	118.60
20 mai.	87.56		121.40	29		67.55	»	203.50[2]
27 mai.	122.04		135.10	54		90.61	»	277.20
3 juin.	126.92		140.90	68		182.30	352	329.70
10 juin.	148.12		163.80[2]	143[2]		358.00	356	353.00
17 juin.	175.06[2]		168.30	»	20.00	361.00[2]	310	362.70
24 juin.	198.64	48.52	187.00	»	15.55	356.00	261	»
1er juillet	226.28	56.38	»	»	20.60	387.00	345	»
8 juillet.	172.52	81.32	258.70	»	22.10	»	»	»
15 juillet.	182.50	74.72	277.30	172	40.35	»	»	»
22 juillet.	»	154.24	»	180	19.16	»	»	»
29 juillet.	»	176.04	»	»	»	»	»	»
5 août	»	176.46	»	»	»	»	»	»

1. Voy. plus haut, no 7, B.
2. Commencement de la floraison.

Autres espèces de trèfle.

Nous n'avons que très peu de renseignements sur la marche de la nutrition chez les autres espèces de trèfle. D'après de nombreuses recherches, on peut affirmer avec certitude que les jeunes plantes du trèfle sont très riches en éléments plastiques précieux, et on pourrait en déduire que, pendant la jeunesse, l'absorption des principes nutritifs est plus forte que plus tard. Cette déduction ne serait cependant pas exacte, parce que les quantités des substances absorbées et formées pendant la jeunesse sont bien plus faibles qu'aux époques ultérieures. Un exemple le démontrera. Nous avons appris plus haut à connaître la marche de la nutrition dans les essais III (1859 et IV (1860) de Dietrich, et nous avons vu par les courbes et

par nos tableaux que, dans ces essais, il y a parallélisme à peu près complet entre l'absorption et la production de substance sèche. Ce parallélisme existe quoique, dans 100 parties de substance, on ait trouvé dans les 8 ou 6 périodes des essais, en p. 100 d'azote :

a=5,004	b=4,877	c=4,106	d=3,512	e=3,013	f=2,975
	4,75		4,10	3,11	2,95
		g=3,154	h=3,211		
		2,77	2,76		

Dans les autres essais, la substance de la récolte ne montre pas, en général du moins, une diminution plus considérable dans la teneur en principes nutritifs.

Si nous ne connaissons pas la marche de la production de la substance sèche, nous ne pouvons donc pas conclure du fait bien connu de la plus grande richesse des jeunes plantes en éléments plastiques et spécialement en azote, que nous devons nécessairement avoir chez les autres espèces de trèfle une direction des courbes pour la nutrition qui s'écarte notablement de nos courbes de trèfle rouge. En réalité, le petit nombre des recherches faites sur les autres espèces de trèfle démontrent aussi que les lois de la nutrition, que nous avons observées chez le trèfle rouge, s'appliquent également à elles. Or, ces lois nous apprennent que dans la jeune plante la nutrition minérale prédomine quelque peu pendant un court espace de temps et qu'ensuite elle suit une marche parallèle à la production de la substance organique.

Il n'y aurait cependant pas de quoi s'étonner s'il devait résulter de recherches ultérieures que les trèfles annuels, tels que ceux qui ont été étudiés dans les travaux suivants, montrent dans leur jeunesse une plus grande prédominance de l'absorption que les trèfles pérennes.

Nous avons des essais de Weiske (*Landw. Jahrb.* VIII, p. 833) qui a récolté du trèfle incarnat (*trifolium incarnatum. L*) à des intervalles d'une semaine, a déterminé sa teneur en substance sèche, en cendres, en azote, en phosphore, et a, en outre, fait des analyses au point de vue de sa valeur comme fourrage, mais dont les résultats ne nous concernent pas ici. Malheureusement, un regard jeté

sur la table des courbes du trèfle incarnat nous montre que le choix des échantillons n'a pas été tel qu'il aurait dû être ; autrement je ne saurais m'expliquer les zigzags des différentes courbes. Malgré cela on ne peut méconnaître une ressemblance entre ces dernières et celles du trèfle rouge. L'absorption des principes minéraux suit une ligne parallèle à celle de la production de la substance sèche (abstraction faite des écarts singuliers que se permet la courbe de l'acide phosphorique le 21 ou 28 juin et le 5 juillet). Dans la jeunesse de la plante, c'est-à-dire jusqu'au 7 juin, l'absorption d'azote semble être plus considérable que la production de substance sèche ; dans la suite elle est parallèle à cette dernière.

Le deuxième travail à mentionner ici, ce sont les recherches faites sur la serradelle par Fittbogen (*Landw. Jahrb.* III, 160).

L'auteur a soumis la serradelle à une analyse complète à trois époques différentes de son développement : *a*) au commencement de la floraison ; *b*) à l'époque de la pleine floraison, et *c*) à la fin de la floraison.

Il est à regretter que les premiers échantillons n'aient pas été recueillis quelques semaines auparavant; les résultats obtenus nous permettent cependant d'admettre qu'il existe chez la serradelle la même relation entre la nutrition et la production de la substance sèche que chez le trèfle rouge. Ces deux recherches sur deux autres espèces de trèfle peuvent donc seulement nous confirmer dans la croyance que les courbes du trèfle rouge, telles que nous les avons représentées, sont normales.

Tableau.

Trèfle incarnat et serradelle. Absorption des principes nutritifs en nombres proportionnels.

ÉTAT DES PLANTES.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.							
TRÈFLE INCARNAT D'APRÈS WEISKE									
	24 mai.	25	5.7	6.9	10.3	»	»	»	7.3
	31 —	7	8.5	9.4	15.4	»	»	»	9.2
	7 juin.	7	18.2	20.0	29.5	»	»	»	22.0
	14 —	7	20.0	17.3	29.5	»	»	»	17.4
Quelques plantes commencent à fleurir	21 —	7	41.9	36.4	51.2	»	»	»	44.1
Pleine floraison.	28 —	7	45.3	39.7	57.6	»	»	»	34.9
	5 juillet.	7	75.8	70.8	83.3	»	»	»	94.6
Fin de la floraison.	12 —	7	78.9	77.0	87.1	»	»	»	72.5
	19 —	7	89.8	100.0	100.0	»	»	»	79.0
	26 —	7	100.0	84.1	86.0	»	»	»	100.0
SERRADELLE D'APRÈS FITTBOGEN									
Commencement de la floraison	18 juillet.	58	14.4	13.0	14.5	20.9	17.4	15.3	18.1
Pleine floraison.	7 août.	20	24.6	25.7	20.5	28.9	28.4	25.5	27.0
Fin de la floraison	3 sept.	27	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Une recherche faite par Wolff sur de la luzerne de trois ans nous offre une image un peu différente. Les conditions de végétation ont été les mêmes que pour le trèfle rouge analysé en même temps ; jusqu'au commencement de mai, les plantes ont souffert de la sécheresse et, ensuite, elles ont poussé vigoureusement. Le 17 avril, le 25 mai et le 15 juin, il a été fait des recherches sur la première coupe ; mais la récolte n'a pas été pesée quand on a cueilli les derniers échantillons. Si nous mettons donc le rendement du 25 mai égal 100, nous obtenons les proportions centésimales suivantes :

DATE.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
17 avril.	23.4	23.8	19.0	31.4	19.6	16.0	23.5	48.8
25 mai.	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Il paraît surprenant qu'ici, comme dans les analyses de trèfle rouge ayant eu lieu simultanément, l'absorption d'acide phosphorique pendant la période de la sécheresse ait été relativement très forte, et que l'absorption d'azote dépasse également la quantité que nous avons supposée plus haut vraisemblablement normale pour les espèces de trèfle. Nous avons déjà appris à connaître l'explication probable de ce fait; elle se trouve sans doute dans la végétation irrégulière aussi bien que dans une rétrocession faite par les racines.

Dans un essai sur la luzerne fait par Wagner, en commun avec le propriétaire Dettweiller, il a été obtenu, le 23 mai, dans deux récoltes, qui peuvent être comparées uniquement entre elles, en p. 100 de la récolte du 30 juin :

	p. 100.
Substance sèche	68.2
Substance organique	67.8
Principes minéraux	76.8
Azote	89.1

Voilà donc un résultat ressemblant beaucoup à celui obtenu par Wolff. D'après cela, il serait à désirer qu'on entreprît aussi sur la luzerne de nouveaux essais qui, tenant compte des racines, nous fourniraient des renseignements plus précis sur l'absorption de l'azote par cette plante.

Reste à savoir si ce que nous avons dit sur la marche de la nutrition des espèces du trèfle ne doit pas subir d'importantes modifications, puisque dans nos discussions nous nous en sommes tenus jusqu'ici presque exclusivement aux parties aériennes de la plante, tandis que les trèfles sont précisément pourvus d'un système radiculaire très fortement développé. Si l'accumulation des principes nutritifs dans ce dernier devait avoir lieu d'une manière tout autre que dans les parties aériennes, nous n'aurions certainement aucun droit de considérer la direction des courbes, telle que nous l'avons décrite jusqu'ici, comme la cause des exigences en fumure spéciales à ces plantes. Malheureusement, d'après les recherches faites jusqu'ici, la seule chose qu'on puisse dire avec certitude, c'est que nos connaissances dans ce domaine présentent encore de nombreuses

lacunes. Dans plusieurs recherches sur la teneur en substance sèche des trèfles annuels, on a déterminé également la substance sèche des racines, et nous voyons que la dernière augmente à peu près dans les mêmes proportions que la substance aérienne sèche. La teneur centésimale de la racine en principes nutritifs, telle que Weiske l'a fixée pour le trèfle incarnat, suit également la même marche que celle de la substance aérienne sèche. Pour le trèfle rouge, dans la deuxième année de végétation, Heiden seul a entrepris de déterminer l'augmentation progressive de la quantité des racines et de leur teneur en principes nutritifs. Nous avons déjà vu plus haut que ses échantillons ne peuvent malheureusement pas être comparés aussi bien qu'on le désirerait ; cependant, il est instructif de savoir qu'il a trouvé par exemple, en livres, par arpent :

SUR UNE SURFACE CARRÉE de 5 pieds couverte par :	DATE.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
146 plantes	13 mai.	1266.3	100.0	49.7	18.4	14.4	11.5	7.2
111 plantes	15 juillet.	2773.1	184.0	98.8	19.5	30.7	9.9	24.0

En tout cas, on peut conclure de ces nombres que, dans l'essai de Heiden, les racines du trèfle étaient bien loin de céder, vers la fin de la végétation, leur teneur en principes nutritifs aux parties aériennes de la plante. Cette teneur, au contraire, augmentait considérablement ; sous ce rapport donc, les racines du trèfle forment un contraste direct avec celles des céréales.

En outre, je rappelle le fait généralement connu que si les espèces de trèfle sont si fort estimées comme tête de rotation, c'est principalement parce que dans leurs résidus de racines, ils laissent au sol une si grande quantité de principes nutritifs végétaux sous une forme facilement décomposable.

Je ne veux pas citer ici les nombreuses recherches qui ont prouvé la justesse de cette dernière opinion ; je renvoie à la théorie de la fumure par Heiden (II, p. 877). Mais maintenant je demande : pouvons-nous croire, en présence de ces faits, que les racines du trèfle

accumulent de si grandes quantités de principes nutritifs pendant la première période de la végétation, afin de les utiliser ensuite, et que le caractère de nos courbes subisse un changement dans les conditions normales ? Jamais. On peut bien croire que les trèfles annuels se comportent, sous ce rapport, d'une manière différente des trèfles pérennes, mais nous n'avons absolument aucune raison d'admettre que les racines de ces derniers, qui ne meurent pas à l'époque de la maturité des semences, se vident à cette époque aussi complètement que cela a lieu pour les racines des céréales. De même, il n'y a pas lieu d'admettre que certains organes des racines, les tubercules des légumineuses, puissent être, en pratique, considérés comme des réservoirs de principes nutritifs pour l'époque de la formation des semences (je reviendrai plus loin sur cette question à propos des pois et des fèves). Les racines mourantes du trèfle se vident certainement comme le font toutes les autres parties mourantes des plantes. C'est pourquoi nous sommes fondés à admettre qu'aux époques défavorables à la végétation, les racines et d'autres parties anciennes de la plante périssent et rétrocèdent leur substance aux jeunes pousses naissantes, et que par conséquent elles remplissent le rôle de magasins de provisions dans les temps de disette. Aussi est-il bien possible que les trèfles annuels et pérennes se comportent d'une façon différente, mais jusqu'ici cela n'a pas encore été prouvé expérimentalement. Qu'une des fonctions normales des racines des trèfles pérennes, les plus importants en agriculture, consiste à accumuler et à distribuer au dehors, de temps en temps, une certaine quantité de provisions, voilà ce que nous n'avons jusqu'à présent aucune raison d'admettre. Je ne crois donc pas qu'on puisse pour cela douter de l'exactitude de nos courbes.

LÉGUMINEUSES

Lupin.

Voici les travaux que nous avons sur la marche de la nutrition chez le lupin :

1. Un essai fait par Stöckhardt (*Chem. Ackersmann.* 1861, p. 50)

sur le lupin rouge (*Lupinus hirsutus*), qui peut être considéré comme n'ayant pas réussi, puisque la végétation des plantes d'essai laissait énormément à désirer; en effet, leur production en substance sèche a été environ 7 fois, et leur teneur en azote environ 3 fois égale au contenu des semences. Ce qui leur a fait défaut, ce sont probablement les principes nutritifs, ou les microorganismes dont la présence, d'après les beaux travaux de Hellriegel, est nécessaire à la végétation du lupin dans le sable privé d'azote.

2. Le lupin jaune (*Lupinus luteus*) a été analysé par Wein dans quatre périodes de végétation (*Vers. Stat.* XXVI, p. 191) ; lui aussi se plaint de la végétation irrégulière de ses plantes d'essai, qui ont peut-être reçu une trop forte fumure de carbonate de chaux, de sulfate de potasse, de nitrate de soude et de poudre d'os. En outre, il ne donne pas le nombre de plantes récoltées chaque fois et n'indique pas avec précision les périodes de la végétation, particulièrement les 3e et 4e périodes. Il semble probable que la 3e se trouve placée avant l'époque habituelle de la récolte, c'est-à-dire avant la cessation de l'assimilation, et que la 4e et dernière récolte a été faite après qu'une quantité considérable des principes absorbés avait déjà été perdue sous forme de feuilles tombées ou de siliques trop mûres, ou restées imparfaites. Si cette conjecture était exacte, les chiffres pour l'absorption des principes nutritifs pendant la première période seraient trop élevés, et ceux relatifs à la seconde trop bas.

3. Les défauts des deux travaux nommés ci-dessus ont été heureusement évités dans les essais de Baeszler[1], qui a récolté et analysé, dans quatre périodes différentes de végétation, du lupin jaune sur deux champs, l'un sablonneux et riche en humus, l'autre sablonneux et léger.

Un seul de ses résultats, à savoir la teneur en azote de la première récolte faite sur le terrain sablonneux léger, me paraît un peu invraisemblable ; elle est, le 19 août, au commencement de la floraison, de 3gr,04 pour dix plantes et, le 3 septembre, de 2gr,737 pour le même nombre de plantes. Une telle diminution à l'époque de la floraison ne se rencontre nulle part ailleurs chez les lupins ou d'autres légu-

1. *Wochenschrift der Pommerschen Oekonomieschen Ges.* 1887. N° 10.

mineuses; j'admets donc dans la suite que le premier des deux chiffres repose sur une erreur. La teneur en cendres est indiquée dans le travail de Baeszler, mais elle ne peut pas servir à calculer la substance organique produite, car c'est de la cendre brute dans laquelle se trouvent des quantités évidemment très variables de sable attaché aux racines, de sorte que les principes minéraux absorbés peuvent difficilement égaler la teneur en cendres qu'on a constatée.

Dans ces conditions, la meilleure voie à suivre pourrait bien être de prendre comme base les travaux de Baeszler et de comparer avec eux les deux autres. En moyenne (cf. tableau de la nutrition du lupin), nous trouvons dans les essais de Baeszler le rapport suivant entre la substance organique produite et l'absorption des principes nutritifs, si nous prenons pour base les nombres proportionnels de notre tableau.

PÉRIODES DE VÉGÉTATION.	SUBSTANCE organique.	AZOTE.	POTASSE.	ACIDE phosphorique.
Depuis la levée jusqu'à la floraison de la tige principale. .	100.0	110.9	133.2	107.6
Depuis le 19 août jusqu'au 3 septembre	100.0	93.7	105.0	81.2
Depuis le 3 jusqu'au 14 septembre.	100.0	97.8	101.5	86.9
Depuis le 14 septembre jusqu'à la maturité, le 14 septembre.	100.0	94.0	62.8	106.8

Nous voyons par ces nombres que le besoin d'aliments est seulement un peu plus intensif pendant la jeunesse, et que ce besoin n'est guère notable que pour la potasse; d'autre part, la faible augmentation, que nous montre la première période pour l'azote et l'acide phosphorique, perd de son importance, si nous réfléchissons que la période en question dure environ trois mois et qu'à sa fin il n'existait cependant que les trois quarts de la substance organique totale produite. En outre, il faut remarquer qu'à l'augmentation insignifiante du besoin d'acide phosphorique dans la jeunesse s'ajoute un besoin de la même substance pendant la dernière époque de la végétation, tel qu'il se produit avec plus ou moins d'intensité chez les autres légumineuses. Dans l'essai de Wein nous voyons aussi peu d'écarts

dans l'absorption des principes nutritifs qui, jusqu'à l'époque de la floraison, est un peu plus forte que la production de la substance organique. La courbe de l'azote monte ici un peu plus verticalement que chez Baeszler, et nous avons tout lieu de croire que sa direction verticale est plus forte dans la première moitié de cette période que dans la seconde. Mais en considérant les résultats de Wein il faut se rappeler ce qui a été dit plus haut, à savoir que l'absorption pourrait bien paraître un peu trop intensive au commencement. D'après tous les essais que nous avons sous les yeux, les racines des lupins semblent avoir quelque importance comme réservoirs de combinaisons azotées pendant leur jeunesse, mais leur action sous ce rapport n'est pas plus forte que chez les céréales. D'après ces résultats (nous ne savons encore rien de la chaux et de la magnésie), c'est l'apport de la potasse qui semble avoir le plus d'importance pour la fumure du lupin ; les phosphates viennent en seconde ligne; les scories Thomas-Gilchrist méritent la préférence ; malgré leur bon marché, elles exercent encore à la fin de l'été une action aussi énergique que les superphosphates plus coûteux. Au sujet de l'engrais azoté nous dirons seulement qu'il vient en dernière ligne et que d'après la direction des courbes il peut seulement être question d'engrais tels que la poudre d'os et d'autres analogues. Nous aurons à parler plus loin du rôle de la fumure azotée pour les légumineuses, et nous verrons alors qu'en général il n'y a pas lieu d'y avoir recours sur des sols de lupin proprement dits. Que pour la fumure du lupin il faut songer en première ligne aux sels potassiques et en seconde ligne à l'acide phosphorique, cela est en complète harmonie avec l'expérience pratique dans la culture de cette plante.

TABLEAU.

Lupin. Absorption des principes nutritifs en p. 100 de la quantité maximum.

PHASES DE LA VÉGÉTATION.	DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.	AZOTE.	POTASSE.	ACIDE phosphorique.
		Jours.						
ESSAI DE STÖCKHARDT.								
Semences.	Commencement de juin.	Après les semailles.	16.4	17.3	6.2	35.0	»	»
Hauteur 5-6 pouces	5 juillet.	4 semaines.	16.7	16.5	18.7	31.0	»	»
Hauteur 12 pouces. Bourgeons. .	3 août.	29	37.6	37.5	40.2	44.4	»	»
Siliques inférieures à moitié mûres	23 sept.	31	100.0	100.0	100.0	100.0	»	»
ESSAI DE WEIN.								
a. — *Plante entière.*								
Avant la floraison.	1er juillet.	46	14.0	13.3	21.9	21.1	»	19.2
Commencement de la floraison. .	22 juillet.	21	29.4	28.5	38.1	41.0	»	38.8
	24 août.	33	99.1	95.2	100.0	100.0	»	100.0
Maturité	24 sept.	31	100.0	100.0	86.6	94.8	»	77.8
b. — *Parties aériennes.*								
Avant la floraison.	1er juillet.	46	13.0	12.2	21.0	18.9	»	15.7
Commencement de la floraison. .	22 juillet.	21	27.9	27.0	36.5	39.1	»	34.5
	24 août.	33	98.2	97.0	100.0	100.0	»	100.0
Maturité	24 sept.	31	100.0	100.0	84.4	95.0	»	78.2
ESSAI DE BAESZLER.								
a. — *Plante entière.*								
Tige principale fleurit.	19 août.	?	30.4	29.4	»	32.6	42.1	27.7
	3 sept.	15	37.2	36.5	»	39.4	50.0	37.3
Tiges secondaires fleurissent . .	14 sept.	11	57.1	57.4	»	58.6	62.1	53.8
Tige principale a des siliques mûres.	24 sept.	10	100.0	100.0	»	100.0	100.0	100.0
b. — *Terrain sablonneux léger (plante entière).*								
Tige principale fleurit.	19 août.	?	40.1	38.6	»	(56.6)	52.0	45.5
	3 sept.	15	49.0	48.7	»	51.0	60.8	49.0
Tiges secondaires fleurissent. . .	14 sept.	11	73.0	72.3	»	75.2	93.8	71.0
Tige principale a des siliques mûres.	24 sept.	10	100.0	100.0	»	100.0	100.0	100.0
Tige principale fleurit.	19 août	?	35.2	34.0	»	[1]	47.0	36.6
	3 sept.	15	43.1	42.6	»	45.2	55.4	43.1
Tiges secondaires fleurissent. . .	14 sept.	11	65.0	64.8	»	66.9	77.9	62.4
Tige principale a des siliques mûres	24 sept.	10	100.0	100.0	»	100.0	100.0	100.0

1. En admettant le même rapport entre la substance organique et l'azote que dans l'essai *a* nous aurions à mettre ici le nombre 37.7.

Vesce.

Une des plus anciennes recherches, dans laquelle on se soit proposé d'étudier la marche de la végétation d'une plante culturale, a été faite sur la vesce en 1845 par Schleiden et E. Schmidt (*Poggendorfs Annalen.* Vol. 71, p. 138). Pour notre but, cependant, nous n'emprunterons à ce travail que les indications sur la substance organique et l'azote, car les auteurs se sont plus intéressés à la formation des carbures par la plante qu'à la nutrition de celle-ci. A la vérité, on a déterminé quantitativement les cendres d'une manière régulière, mais nos propres essais nous ont suffisamment démontré que les résultats de la simple détermination des cendres brutes, si on comprend dans les recherches les racines garnies de terre, n'ont pas une grande signification.

Voici quelle est en p. 100 des quantités maxima la marche de la production de la substance organique et de l'absorption d'azote :

	SUBSTANCE organique.	AZOTE.
	—	—
Semences	2.2	3.1
Le 2 juin. 18 jours après les semailles	1.5	2.9
Le 12 juillet. Commencement de la floraison	40.0	50.3 [1]
Le 6 août. Siliques à moitié mûres	70.0	65.3
Le 3 septembre. Maturité	100.0	100.0

D'après cela nous pouvons conclure pour la vesce présente une direction à peu près parallèle de la courbe de la substance organique et de celle de l'azote.

Ritthausen a analysé la vesce en deux années, 1854 et 1855. Quoique pour lui il se fût agi en première ligne de rechercher la composition de la vesce à titre de plante fourragère, en différentes périodes de végétation, il a cependant déterminé aussi la substance de la récolte produite, la 1re année, par 15 plantes, la 2e année, par perche carrée.

1. J'ai calculé la donnée relative à l'azote dans l'hypothèse que les racines contenaient autant d'azote que la tige ; le chiffre est donc un peu trop élevé.

Comme on a analysé aussi les cendres des vesces de la seconde année, nous avons pour cette dernière les matériaux nécessaires pour calculer la quantité des principes constitutifs des cendres récoltées sur l'unité de surface. Mais les échantillons employés pour l'analyse et la pesée de la récolte totale ne sont pas identiques et, par conséquent, les résultats ne concordent pas tout à fait. Ainsi, par exemple, la quantité des cendres brutes, au moment de la maturité, se calcule comme suit :

Il a été récolté par 1 arpent 14040 livres avec 1, 5 p. 100 de cendres = 210,6 livres de cendres brutes ; la substance sèche analysée contenait 9, 3 p. 100 de cendres pures, exemptes d'acide carbonique et de sable ; la récolte comprend 2,204 livres de substance sèche ; ce qui donne une récolte de 249 livres de cendres pures, c'est-à-dire que le calcul donne environ 1/5 en plus de cendres pures que de cendres brutes. Dans la seconde récolte, nous trouvons tout à fait la même proportion et, dans la première récolte la même quantité de cendres brutes et de cendres pures. On ne peut donc pas s'attendre à trouver des nombres normaux en combinant les deux résultats. D'ailleurs, il n'a pas été dans l'intention de Ritthausen d'utiliser ses nombres de cette façon. Néanmoins je donne, comme pouvant servir de base approximative, les nombres proportionnels suivants, calculés d'après les recherches de Ritthausen (p. 100 de la teneur maximum).

	DATE.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	AZOTE.	DATE.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	AZOTE.
	ESSAI DE L'ANNÉE 1854.				ESSAI DE L'ANNÉE 1855.			
Avant la floraison .	12 juin.	23.7	32.4	30.1	9 juillet.	56.9	57.1	61.5
Floraison	23 juin.	47.4	67.3	50.0	25 juillet.	100.0	100.0	79.1
Maturité.	12 juillet.	100.0	100.0	100.0	6 août.	98.0	83.8	100.0

L'impression que nous laissent ces données, c'est que la production et l'absorption de substances ont lieu à peu près comme chez le

lupin. Si, malgré les objections énoncées plus haut, on veut cependant comparer dans ses détails la seconde à la première, on arrive au résultat que dans l'essai de 1855 il existe jusqu'au 9 juillet, entre toutes les courbes, un parallélisme approximatif, qui continue encore plus tard excepté pour celles de l'azote et de la chaux, les quantités de ces deux principes augmentant encore à l'époque où toutes les autres diminuent. Mais ces comparaisons, comme il a été dit, ne me paraissent pas probantes. L'analogie entre les résultats de Ritthausen et ceux obtenus par Schleiden et Schmidt est une preuve que les premiers sont à peu près exacts.

Pott (*Vers. Stat.* 25, p. 57) s'est aussi proposé d'étudier quelle est, aux différentes époques de végétation, la valeur de la vesce comme fourrage. Dans l'analyse chimique des plantes récoltées, il a étudié en détail la composition des divers organes, mais les échantillons ont été si mal choisis que les résultats obtenus ne peuvent pas servir à notre travail.

Pois.

Nos connaissances relatives à la nutrition des pois présentent encore plus de lacunes que celles relatives aux vesces. Les essais de Stöckhardt (*Tharander Jahrbuch.* Nouv. Suite 3, p. 296) ont complètement échoué parce que les plantes, qui au commencement avaient poussé vigoureusement, ont pourri au pied. La conséquence en a été que la substance sèche des cosses mûres, cueillies sur 50 plantes, pesait de $8^{gr},9$ à $16^{gr},9$, qu'elle a donc pesé à peine autant que celle des semences. Ensuite, Wolff a analysé le pois des Capucins (*die Erschöpfung des Bodens durch die Kultur,* p. 49), mais il a seulement déterminé sa teneur en substance sèche et en cendres dans cinq périodes de végétation, sans indiquer la manière dont la plante avait poussé et sans ajouter d'observation sur les nombres obtenus. Les résultats de l'analyse, convertis en p. 100 de la teneur maximum, sont les suivants :

	DATE.	SUBSTANCE organique.	PRINCIPES minéraux.
Formation des bourgeons	15 juin.	8.9	13.7
Pleine floraison	5 juillet.	34.1	60.0
Formation des cosses	4 août.	80.7	100.0
Maturité	27 août.	100.0	70.0

La forte diminution des principes minéraux, d'une part, et l'augmentation considérable et simultanée de la substance organique, de l'autre, sont frappantes, mais comme l'auteur ne donne aucune indication sur ce fait, il est difficile de l'expliquer.

De ce que nous avons dit jusqu'à présent il résulte que les légumineuses forment le groupe des plantes culturales dont la nutrition a été le moins étudiée jusqu'à présent, quoiqu'on ait beaucoup discuté dans ces dernières années sur les engrais qu'elles exigent. Afin de contribuer pour notre part à formuler des réponses aux questions qui nous occupent ici, nous avons entrepris des essais de végétation avec des pois et des haricots.

D'après ce que nous avons appris à connaître, à propos de l'orge et de l'avoine, sur l'influence de la différence des variétés, il nous a paru bon de choisir pour chacune de ces plantes une variété à végétation longue et une autre à végétation courte, et les essais ont été faits avec le pois Victoria tardif et à tige grimpante, ainsi qu'avec le pois nain précoce et à tige basse, d'une part, et, d'autre part, avec la fève commune d'*Erfurt* précoce et à grosses semences, ainsi qu'avec la féverole précoce et à petites semences. Ensuite, il a paru bon de ne pas tout fumer de la même manière, mais, pour ne pas trop étendre le travail, il a été résolu de ne faire qu'un essai à ce point de vue ; on a donc ajouté aux quatre séries d'essais qui devaient toutes être également fumées avec de l'azote et de l'acide phosphorique une cinquième série sans fumure azotée ; la plante choisie a été le pois Victoria. Pour pouvoir recueillir toutes les racines, il a été résolu d'élever toutes les plantes dans des pots à fleurs enfouis dans la terre, et d'en cimenter le fond afin d'empêcher les racines de se répandre au dehors. La terre des essais a été

amenée au printemps ; elle vient d'un jardin de l'île près de Iéna, parce que le sol du jardin botanique agricole paraissait trop compact. Cette terre peut être désignée comme appartenant à l'alluvion récente ; c'est un mélange riche en humus de terrain calcaire, de décombres, de cendres, etc. Après l'avoir tamisée et en avoir retiré les pierres, on a trouvé en l'analysant mécaniquement avec l'appareil de Schöne :

	p. 100.
Gravier au delà de 2 millimètres de diamètre	2.88
Sable de 2 millimètres à 1 millimètre de diamètre	1.24
— de 1 millimètre à $0^{mm},5$ de diamètre	3.38
— de $0^{mm},5$ à $0^{mm},2$ de diamètre.	15.35
— de $0^{mm},2$ à $0^{mm},1$ —	4.56
— de $0^{mm},1$ à $0^{mm},05$ —	11.24
Poussière de $0^{mm},05$ à $0^{mm},01$ de diamètre	25.37
— très fine au-dessous de $0^{mm},01$ de diamètre	»
Différence.	35.98

Ou suivant l'ordre des groupes principaux :

	p. 100.
Gravier au delà de 2 millimètres de diamètre	2.88
Sable de $0^{mm},5$ à 2 — —	35.77
Parties argileuses au-dessous de $0^{mm},05$ de diamètre	61.35

Les parties grossières contenaient principalement des fragments de muschelkalk et des particules de scories outre du sable quartzeux (provenant de grès bigarré?). Le sol avait des dispositions à se tasser et à former des croûtes, mais grâce à sa richesse en humus, il était assez friable. Les pots à fleurs dont on s'est servi ont une hauteur d'environ 17 centimètres et autant de largeur et contiennent à peu près $2^{kg},5$-$2^{kg},75$ de terre séchée à l'air. Après avoir été remplis jusqu'au bord les pots furent enfouis dans une partie du jardin ensoleillée et reçurent chacun une fumure de $1^{gr},5$ de superphosphate dans lequel se trouvait 17,28 p. 100 d'acide phosphorique soluble dans l'eau ; ce qui fait que dans chaque pot il y avait $0,2592^{g}$ P^2O^5. 300 pots reçurent en outre chacun 5 centimètres cubes d'une solution de nitrate de soude, contenant 0,07051 grammes d'azote. 80 autres pots ne reçurent pas cette dernière fumure. Le 22 avril

1887 on planta les pois (6 graines par pot) et le 3 mai les fèves (3 semences par pot) et on établit ainsi les 5 séries d'essai suivantes :

1. Pois Victoria sans nitrate de soude .	80 pots	en	16 rangées	de	5 pots.
2. — avec — .	80	—	16		—
3. Pois nain	60	—	12		—
4. Petites fèves des champs	80	—	16		—
5. Grandes fèves ordinaires d'Erfurt. .	80	—	16		—

Par suite d'un temps froid les pois levèrent seulement du 2 au 6 mai et les fèves du 14 au 20.

Au milieu de mai, il y eut une pluie persistante tellement forte que l'eau couvrit entièrement la terre des pots, et elle se retira si lentement qu'on avait peur de voir les plantes périr. Heureusement cette crainte était mal fondée ; grâce à cette pluie, on put encore recueillir dans l'eau les nombreux curculionides (*Sitones Lineatus L.*) et les tuer ; en outre, la première récolte de pois fut plus facile, puisqu'il a été possible de tirer de la terre toutes les plantes des pois (à l'exception de quatre qu'on laissa dans chaque pot) sans perte de racines, et de réunir ainsi, le 18 mai, d'abondants matériaux pour la première récolte. Pour toutes les autres récoltes on procéda de la façon suivante : on plaça les pots entiers, remplis de leur terre et de plantes, dans des seaux d'eau, on enleva la terre avec précaution et on lava ensuite les racines à l'aide de pinceaux.

L'été entier, le temps fut assez favorable à la croissance des plantes d'essai ; en juin il fallut arroser tous les soirs à cause de la sécheresse persistante, arrosage qui fut continué plus tard de temps en temps, et à partir de mi-juin jusqu'à fin juillet, il fallut lutter toutes les semaines 1-2 fois contre les pucerons noirs qui menaçaient d'anéantir les fèves. On employa d'abord inutilement la fumée de tabac à laquelle on exposa pendant deux heures les pots portés dans un pavillon ; dans la suite on eut recours avec succès à l'insecticide persan qui fut soufflé sur les plantes, de façon qu'on est fondé à admettre que les plantes ont poussé sans avoir eu beaucoup à souffrir ni des insectes ni des maladies. Relativement au choix des plantes soumises chaque fois à l'analyse, je dois faire remarquer que la végétation des pois Victoria était tellement uniforme dans les deux

séries d'essais que les plantes purent être enlevées successivement dans chaque rangée. Pour les pois nains et les fèves, la végétation a été moins uniforme ; il fallut mettre de côté quelques pots, parce que les semences avaient déjà été attaquées par les insectes avant qu'elles fussent levées, de sorte que les plantes, sorties de ces semences, avaient l'air chétif; d'ailleurs les autres plantes, restées indemnes, demeurèrent aussi de taille inégale depuis le commencement jusqu'à la fin. C'est pourquoi, avant chaque récolte, on mesura les plantes existantes : on en cueillit ou en laissa debout un nombre égal de grandes, de moyennes et de petites. Dans la première récolte, le nombre des plantes de pois fut réduit à 4 et dans la seconde à 2 par pot; dans la première récolte les fèves furent réduites à une plante par pot. Dans la description morphologique de la végétation à chaque récolte, il a fallu se borner à déterminer le poids, la hauteur de la plante, le nombre des feuilles et des fruits; les limbes furent seulement mesurés à la première récolte ; plus tard, le temps a manqué pour cette opération. On avait l'intention de mesurer également les racines, mais on n'a pu en mesurer qu'un certain nombre. Ces mesures devaient être prises d'après la méthode recommandée par Aimé Girard (Comptes rendus t. II, p. 1257) et consistant à retourner d'abord dans des fleurs de soufre les racines lavées, fraîches mais n'étant plus mouillées, à éloigner les fleurs en trop par de légers coups, à enlever le soufre adhérant avec de l'alcool à 10°, à le sécher ensuite sur un filtre pesé et à en déterminer le poids. Des mesurages comparatifs de quelques racines indiqueront ensuite combien de grammes de soufre correspondent à un centimètre carré de la surface de la racine. Comme cette méthode n'a pas encore été mentionnée dans les ouvrages allemands, je dirai ici que j'ai réussi à trouver avec quelque certitude le point où il faut cesser de frapper, afin d'obtenir des résultats uniformes. D'après mes essais, je crois que la pesée de la substance sèche de la racine, abstraction faite des cendres de la racine, permet de tirer des conclusions plus sûres relativement à la longueur et à la surface des radicelles, que la méthode de Girard. Mais ces essais ont été faits avant l'apparition du chevelu (voyez plus bas) et il est bien possible qu'on serait arrivé plus tard à de meilleurs résultats. L'état de végétation dans lequel les plantes

d'essai se trouvaient à l'époque des analyses peut être caractérisé de la manière suivante :

Pois Victoria.

Les semailles ont eu lieu le 22 avril, la levée du 3 au 5 mai. La première récolte a été faite le 18 mai. Les cotylédons sont encore bien remplis. Sur la racine, d'une longueur d'environ 15 centimètres, on voit à peu près 10-12 petits tubercules. Les racines secondaires, au nombre d'environ 60-80 par plante, ont une longueur totale d'environ 4 mètres et portent déjà de nombreux petits tubercules rudimentaires ; les premières racines tertiaires commencent à paraître. Çà et là on découvre seulement quelque chevelu au microscope. Les parties aériennes, hautes d'environ 9 centimètres, ont trois feuilles. A vue d'œil on n'aperçoit aucune différence entre les plantes des deux séries d'essais.

Deuxième récolte le 2 juin, par conséquent quatre semaines après la levée. Les plantes des deux séries d'essais montrent une assez grande ressemblance ; mais celles qui sont fumées avec du nitrate de soude ont beaucoup moins de tubercules radiculaires que celles qui ont poussé sans cet engrais.

	AVEC du nitrate de soude.	SANS nitrate de soude.
Hauteur moyenne des plantes	$21^{cm},2$	$22^{cm},6$
Nombre moyen des feuilles	6 ,1	6 ,4
Longueur moyenne des racines	28 ,2	24 ,7

Les cotylédons sont ratatinés et en partie tombés.

Troisième récolte le 17 juin. Les pois sans nitrate de soude ont l'air plus vigoureux que les autres, mais dans les deux séries d'essais le mesurage donne une hauteur moyenne de 50-55 centimètres avec 10-12 feuilles. Là où l'on réussit à extirper entièrement le pivot, sa plus grande longueur, pour les pois avec nitrate de soude, est de 55 centimètres, et, pour ceux sans nitrate, de 40 centimètres. Les tubercules des racines sont plus nombreux chez les plantes qui n'ont pas reçu de nitrate de soude, mais chez toutes ils sont bruns, vides et percés à l'extérieur. Dans quelques-uns on trouve des

larves apodes, blanches, longues d'environ 1^{mm},1/2 ; ce sont peut-être des larves de Sitones qui commencent de nouveau à se montrer en grande quantité. Primitivement on avait l'intention de renouveler, vers cette époque, l'arrosage avec du nitrate de soude, mais comme il semble établi maintenant que l'effet de la première faible dose avait été nuisible, on renonce à ce projet et, le 24 juin, on fume chaque pot de pois à azote avec 1^{gr},5 de poudre de corne qui est mélangée superficiellement avec le sol. Le 24 juin, par conséquent entre la 3e et la 4e récolte, les premières fleurs apparaissent dans les deux premières séries d'essais.

Quatrième récolte le 1er juillet. Les plantes des deux séries sont en pleine floraison ; le retard des pois fumés avec du nitrate de soude saute aux yeux avec plus d'évidence qu'auparavant. Dans l'une et l'autre série, les 3 feuilles inférieures sont desséchées ; les vieux tubercules sont presque entièrement détruits ; de nouveaux sont en train de naître sur les racines latérales ; il n'y a plus moyen de démêler les racines et de les mesurer.

	AVEC NITRATE.	SANS NITRATE.
La longueur moyenne des plantes est	63^{cm},5	75^{cm},8
Le nombre moyen des plantes est.	15 ,4	15 ,7

Cinquième récolte le 15 juillet. Les cosses sont à demi-mûres, c'est-à-dire la plupart sont telles qu'on a l'habitude de les manger sous le nom de petits pois.

	AVEC NITRATE.	SANS NITRATE.
Longueur moyenne des plantes.	70^{cm},9	75^{cm},3
Nombre des feuilles desséchées.	4 ,5	5 ,2
— jaunes	4 ,3	4 ,3
— vertes.	8 ,2	7 ,4
Nombre des cosses.	2 ,6	2 ,6

L'impression générale est que les pois sans nitrate de soude sont un peu plus mûrs que les autres.

Sixième récolte le 29 juillet. Les pois sans nitrate sont devenus complètement secs et mûrs, tandis que ceux qui ont reçu du nitrate ne sont pas encore aussi avancés. Beaucoup de graines sont certai-

nement déjà fermes; les plantes, qui ont des cosses petites et en petit nombre, ont encore de nombreuses feuilles vertes et commencent à fleurir de nouveau; sur ces dernières on trouve aussi des tubercules frais. La longueur des parties aériennes et le nombre des feuilles sont identiques à ceux de la cinquième récolte.

	AVEC nitrate de soude.	SANS nitrate de soude.
	—	—
Nombre des cosses.	2,6	2,7
Nombre des graines bien formées	8,03	9,94

Comme quelques cosses des pois nitratés n'ont pas achevé leur croissance, on peut admettre qu'il faudrait encore une semaine pour que les graines des deux essais fussent au même degré d'avancement, mais, pour certains motifs, il n'est pas possible de remettre la récolte des pois nitratés.

Pois nain.

Semailles le 22 avril, levée 3-5 mai.

Première récolte le 27 mai. Les plantes ont une hauteur d'à peu près 5-6 centimètres et ont en moyenne 4 feuilles; beaucoup forment le premier rameau. Le système radiculaire est abondamment développé, beaucoup de racines tertiaires ont atteint une longueur d'environ 1 centimètre, les petits tubercules sont très nombreux.

Deuxième récolte le 17 juin. Le commencement de la floraison a été observé le 13 juin; maintenant encore la plupart des fleurs sont vertes; elles sont à peu près au nombre de 4 par plante. Hauteur de la tige : 14-20 centimètres, nombre des feuilles 7-8, longueur de la racine 20-27 centimètres. Les tubercules des racines sont la plupart bruns.

Troisième récolte le 1er juillet. Hauteur moyenne de la plante 15 centimètres avec 10 feuilles et 2-8 cosses à moitié mûres. Les tubercules des racines n'ont pas disparu d'une façon aussi générale que chez les pois Victoria à la même époque.

Quatrième récolte le 15 juillet. Bien que la plupart des cosses soient complètement mûres, il y en a cependant encore une certaine quantité qui ne le sont pas; la tige n'est pas encore tout à fait morte,

car en moyenne on trouve par plante 3-6 feuilles sèches, 2-5 feuilles jaunes et 4-1 feuilles vertes en dehors de 2-3 cosses et demie mûres avec 9-3 de graines mûres bien développées. On a cru bien faire de ne pas différer la récolte à cause de la perte de graines qui en serait résultée; on n'a pas voulu non plus arracher les plantes complètement, parce que dans toutes les récoltes antérieures il avait fallu exclure quelques plantes avant la pesée, puisqu'en lessivant leurs racines on s'était aperçu que dans leur jeunesse elles avaient été dévorées par les insectes et par conséquent devaient être regardées comme anormales.

Féveroles.

Semailles le 3 mai, levée 14-19 mai.

Première récolte le 2 juin.

Hauteur des plantes, en moyenne	10^{cm},8
Longueur des racines, —	22 ,4
Nombre des feuilles, —	3 ,0

Le chevelu est encore très rare, c'est pourquoi les racines ne sont encore nullement soudées au sol. On reconnaît à peine les petits tubercules qui sont d'ailleurs peu nombreux.

Deuxième récolte le 24 juin.

Hauteur en moyenne	23^{cm},6
Longueur des racines, là où on peut les mesurer, environ	50 ,0
Nombre des feuilles, en moyenne	7 ,5

Les racines sont couvertes de poils et fortement soudées au sol, leurs tubercules sont peu nombreux et forment une fraction beaucoup moindre du volume des racines que cela n'est le cas pour les pois ; on ne voit pas de tubercules rongés par les insectes. D'après les expériences faites sur les pois on n'a pas jugé à propos de faire maintenant, comme on en avait l'intention, une seconde fumure avec du nitrate de soude et, d'un autre côté, il y avait à craindre que la quantité d'azote existante ne suffît pas ; on a donc donné à chaque pot de fèves une fumure d'un gramme et demi de sciure de corne qui a été seulement mélangée superficiellement avec la terre.

Troisième récolte le 11 juillet. Milieu de la floraison. (Les premières fleurs avaient déjà été aperçues le 28 juin.) Hauteur moyenne 44 centimètres ; nombre des feuilles, 16,1 ; impossible de démêler les racines, qui sont garnies de nombreux petits tubercules.

Quatrième récolte le 29 juillet.

Hauteur moyenne.	53 centim.
Nombre des feuilles, en moyenne	18 —
Nombre des fruits, en moyenne	12 —

Les plus vieilles cosses peuvent bien être désignées comme étant à demi-mûres, les plus jeunes sont encore couvertes par le calice desséché.

Cinquième récolte le 26 août. Il faut éliminer quelques plantes entièrement mûres, parce que la pluie a enlevé toutes les feuilles ; les cosses des plantes récoltées sont en partie mûres, beaucoup sont très petites ou rabougries, il s'en trouve d'autres à tous les états de végétation. On a compté en moyenne par plante :

Cosses mûres noires.	3,1	avec 13,9 graines complètement développées.
Cosses vertes mais complètement développées.	2,3	
1/4 à 3/4 de cosses mûres	1,6	

en outre une grande quantité de cosses rabougries. Les feuilles sont plus ou moins en train de se dessécher.

Fèves ordinaires d'Erfurt.

Semailles le 3 mai, levée 14-19 mai.

Première récolte le 2 juin.

Hauteur, en moyenne.	14^{cm},4
Longueur des racines, en moyenne	27 ,2
Nombre des feuilles	4 ,0

Dans toutes les récoltes, les racines sont constituées comme chez les féveroles, seulement le système radiculaire est plus développé.

Deuxième récolte le 24 juin.

Hauteur moyenne	31^{cm},5
Longueur des racines au delà de.	50 ,0

La première fleur avait apparu déjà le 19 juin, et maintenant la plupart des plantes fleurissent. On emploie la même fumure que pour les féveroles.

Troisième récolte le 11 juillet. Fin de la floraison; les plus vieilles cosses ont jusqu'à 5 centimètres de longueur.

Hauteur des plantes, en moyenne.	$44^{cm},0$
Nombre des feuilles, —	18 ,7

Quatrième récolte le 29 juillet. Les plus grandes cosses sont à demi-mûres.

Hauteur moyenne des plantes	$47^{cm},0$
Nombre des feuilles	20 ,7

6 cosses par une plante, de grandeur très diverse.

Cinquième récolte le 16 août. Les plus vieilles cosses sont mûres et beaucoup de feuilles tombent au plus faible toucher, quoiqu'elles soient encore vertes; il faut donc faire la dernière récolte, pour éviter des pertes. En moyenne on trouve par 10 plantes :

Cosses tout à fait mûres, noires	14.4
A peu près mûres, tachetées de noir	18.3
Petites cosses vertes, encore en train de se développer	7.4
Fruits rabougris	30.5
Graines tout à fait mûres.	21.5
Graines à peu près mûres.	30.0
Graines non mûres, qui peut-être auraient mûri si on avait laissé les plantes sur pied	9.1

Le tableau suivant montre le nombre des plantes qu'on a récoltées chaque fois.

	POIS VICTORIA avec nitrate de soude.	POIS VICTORIA sans nitrate de soude.	POIS NAINS.	FÉVEROLES.	FÈVES ordinaires.
1re récolte	127	130	45	31	32
2e —	35	43	36	15	12
3e —	37	39	24	14	15
4e —	34	33	21	18	22
5e —	32	32	»	13	23
6e —	34	31	»	»	»

A propos des recherches faites sur les produits des récoltes, je dois ajouter qu'après le nettoyage et le découpage, la récolte entière était séchée dans une vaste armoire à l'aide de vapeur d'eau, et laissée ensuite exposée à l'air pendant 1-3 jours.

On a ensuite déterminé le poids de la substance récoltée, séchée à l'air, après l'avoir broyée dans un moulin Excelsior, et on l'a mise immédiatement dans des vases fermant hermétiquement. On a pesé le plus tôt possible : *a*) Un petit échantillon pour la détermination de la teneur en substance sèche et en cendres brutes (obtenues sans charbon par la combustion dans une nacelle de porcelaine dans le courant d'oxygène d'après L. Grandeau) ; *b*) Un échantillon pour la détermination de l'azote d'après Kjeldahl-Wilfarth ; *c*) Une plus grande quantité, correspondant à un nombre déterminé de plantes pour l'incinération, qui était faite dans des capsules de porcelaine. Dans l'échantillon *c* on a déterminé la quantité d'acide silicique et de sable, on a recueilli le filtrat chlorhydrique et on l'a étendu d'eau jusqu'au volume d'un demi litre ou d'un litre et on l'a mis à part dans des flacons bien fermés pour déterminer plus tard les différents éléments constitutifs des cendres. Pour plus de certitude on a répété plus tard les déterminations d'azote dans la substance restante ; malheureusement les résultats de ces dernières analyses s'écartent de ceux obtenus précédemment, à tel point que dans un cas l'écart de la teneur en azote s'élève à 0,18 p. 100. Faute de substance conservée, on n'a pas pu arriver à faire mieux concorder les résultats par de nouvelles recherches. Relativement aux déterminations de la potasse, de l'acide phosphorique, de la chaux et de la magnésie, nous mentionnerons qu'elles ont été faites d'après les anciennes méthodes d'analyse des cendres, et que beaucoup d'entre elles ont été confirmées par des déterminations répétées, de sorte qu'on ne peut pas douter de l'exactitude des résultats obtenus.

Comme le sol employé aux expériences contenait dans sa substance sèche 6,10 p. 100 CaO et 1,93 MgO, et que, d'autre part, les légumineuses absorbent seulement une très petite quantité d'acide silicique, tandis que dans l'analyse des racines on a trouvé, malgré un lessivage exécuté avec beaucoup de soin, que l'acide silicique et le sable constituaient jusqu'à 43 p. 100 de leur substance sèche, il

a semblé nécessaire de faire subir une diminution à la quantité de la chaux et de la magnésie trouvées par l'analyse dans les plantes. Voici comment on a calculé la quotité de cette diminution. Sur 100 parties d'acide silicique et de sable du sol, il y a 8,716 parties Ca O et 2,755 parties Mg O. Combien de calcaire et de magnésie du sol correspond d'après cela à la quantité d'acide silicique et de sable que l'on a trouvée dans la substance sèche des racines de 100 plantes ?

Si l'on considère les résultats convertis par le calcul de façon à se rapporter au nombre égal de cent plantes, et surtout le résultat de l'analyse des plantes mûres, on voit que dans aucune série d'essais il n'a été produit autant de substance sèche que l'on était en droit d'attendre d'après la grandeur des vases employés et dans des conditions favorables de nutrition. Hellriegel (*Grundlagen des Ackerbaues,* division 2 ; chap. 3) a obtenu, par exemple dans ses vases n° IV, en donnant à ses pois et à ses fèves tous les principes nutritifs en abondance, environ 30 gr. de substance sèche aérienne pour environ 3 kilogr. de terre. Par 2 kilogr. et demi de sol nous aurions donc pu obtenir 25 gr. de substance sèche et, au lieu de cela, nous avons seulement récolté comme substance sèche aérienne :

Pois nains, par 2 plantes	5.56
Pois Victoria, sans nitrate de soude, par 2 plantes	12.49
— , avec — —	12.16
Féveroles, par 1 plante	12.45
Fèves ordinaires d'Erfurt, par 1 plante	13.92

Si nous faisons même abstraction des pois nains à végétation courte, il y a seulement production de la moitié de la substance qu'on aurait pu attendre avec le volume donné de terre : c'est là une preuve évidente qu'il n'y avait pas excès d'aliments. Cependant la récolte ne peut pas être regardée comme étant beaucoup au-dessous de la normale, car si nous calculons d'après elle le rendement par hectare, en admettant que la surface du sol de chaque pot est égale à 200 centimètres carrés, nous verrons que ce rendement donnera, comme moyenne des 4 dernières séries d'essai, 6,378 kilogr. de substance sèche aérienne ou 7,500 kilogr. de substance sé-

chée à l'air. Pour des pois, c'est là une forte récolte, pour des féveroles, cela ne dépasse guère une récolte moyenne.

Le nombre des graines récoltées, complètement développées, mérite aussi de fixer l'attention sous ce rapport. En effet,

La récolte des pois nains se monte à	9.3	fois la semence.
— — Victoria, avec nitrate de soude, se monte à.	8.0	—
— — — sans — — .	9.9	—
— des féveroles se monte à	13.9	—
— des fèves ordinaires se monte à	6.0	—

Tout cela n'est pas beaucoup[1]; cela confirme l'opinion qu'il y avait plutôt insuffisance qu'excès d'aliment, mais ces nombres indiquent que nous n'avons aucun droit de supposer que les résultats ont été aussi anormaux que ceux de Stöckhardt dans son essai sur les lupins.

En face de ces nombres, certes, personne ne sera tenté d'attribuer l'augmentation dans l'absorption des principes nutritifs à une nutrition très abondante.

Nous nous éloignerions trop de notre but principal si nous nous livrions à un examen spécial de la quantité absolue de la substance absorbée et de sa circulation dans les plantes. Je voudrais seulement appeler l'attention sur ce fait que l'analyse distincte des racines, de la tige et des fruits a seulement été entreprise pour vérifier l'exactitude de l'opinion émise par Lachmann (déjà en 1858), et développée par Nobbe et Tschirch (*Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft,* 1887, p. 58), d'après laquelle les tubercules des racines des légumineuses formeraient une réserve où la grande quantité d'albumine, nécessaire à l'époque de la maturité des graines, s'accumule peu à peu quelque temps auparavant. Or les tableaux ci-joints démontrent clairement qu'il ne peut pas être question d'une pareille accumulation, car ils font voir que les racines des légumineuses avec leurs tubercules n'ont pas une plus grande importance,

1. Dans le semis en ligne on peut attendre comme récolte moyenne de pois à peu près 12 fois, de fèves à peu près 20 fois la quantité des graines semées.

à titre de magasins de réserves, que les racines des graminées. Comme la même conclusion peut être tirée de chacune de nos cinq séries d'essais, il suffit de prendre ici pour exemple la première série d'essais I a, pour faire voir l'état des choses. Nous trouvons en effet par 100 plantes, à l'époque de la floraison, c'est-à-dire de la dernière recherche avant la naissance du fruit, 1,9183 gr. d'azote dans les racines, et nous voyons que, dans le cours de la fructification, cette quantité diminue seulement de $0^{gr},7321$, tandis que dans le même intervalle $11^{gr},4793$ d'azote sont employés pour le développement des fruits. Dans le cas qui nous occupe, les organes souterrains (racines et tubercules) ont donc pu seulement contenir 6,38 p. 100 de la teneur des fruits en azote avant la fructification. Mais nous avons vu que, chez les graminées, les racines ont une importance égale ou même encore plus grande comme réservoirs. A cette occasion nous rappellerons un fait déjà mentionné plus haut, à savoir qu'il existait déjà de nombreux tubercules à une époque où les réserves de la graine n'étaient pas encore épuisées. Nous avons vu également que la formation des graines a commencé chez les pois quand les larves venaient de détruire les tubercules formés auparavant et que, simultanément avec la naissance du fruit, il s'est produit même une nouvelle formation de tubercules. De tout cela il résulte que l'opinion mentionnée plus haut, relative à la fonction des tubercules de la racine, n'est pas admissible.

A propos de l'effet du nitrate de soude, nous dirons encore que celui-ci n'a pas fait subir à la quantité de la substance sèche produite une diminution aussi grande qu'on aurait été tenté de le croire, d'après l'aspect des plantes et les résultats de la mensuration des longueurs. Sans doute toutes les récoltes des pois ayant reçu du nitrate de soude (la seconde exceptée) fournissent une moindre quantité de substance organique que les plantes ayant crû sans nitrate de soude. Mais dans la récolte des plantes fumées avec du nitrate de soude on a toujours trouvé plus d'azote. En établissant le calcul sur 10 pots et en tenant compte de la teneur des plantes avortées, la fumure azotée et la récolte donnent les nombres suivants :

Dans la fumure, 10 pots de pois ont reçu à l'époque des semailles, sous forme de nitrate de soude, $0^{gr},7051$ d'azote, et le 24 juin envi-

ron 1gr,5 d'azote de poudre de corne. Dans les récoltes ils ont fourni, d'autre part, à partir de la levée :

Jusqu'au 2 juin	. . . .	0gr,1702	d'azote
— 17 juin	. . . .	0 ,1877	—
— 1er juillet	. . . .	0 ,0976	—
— 15 —	. . . .	0 ,2951	—
— 29 —	. . . .	0 ,4304	—

en plus que le même nombre de pots auxquels on n'a pas donné d'engrais azoté. Si l'on calcule la teneur centésimale en azote de la substance organique qui a été produite dans les différentes périodes, on obtient les nombres suivants :

	SANS engrais azoté.	AVEC engrais azoté.
Du 4 mai au 18 mai	?	?
Du 18 mai au 2 juin	2.68	3.17 + 0.49
Du 2 juin au 17 juin	3.02	3.33 + 0.31
Du 17 juin au 1er juillet	1.25	1.35 + 0 11
Du 1er juillet au 15 juillet	2.13	2.27 + 0.14
Du 15 juillet au 29 juillet	4.94	5.10 + 0.16

Dans les deux cas la teneur en azote de la substance produite augmente et diminue donc dans le même sens, non point d'après la fumure mais évidemment selon la nature de la plante. Si nous trouvons dans une période une augmentation dans l'absorption de l'azote, cette augmentation est plus forte pour les pots fumés avec de l'azote.

Cela ne signifie pas autre chose si ce n'est que les pois ont bien la propriété d'absorber des nitrates, quand même cette propriété n'est probablement pas développée au même point que chez les céréales. Mais ils ne possèdent pas la faculté d'élaborer d'une façon utile l'azote absorbé en plus, car, jusqu'au premier juillet, nous avons à inscrire non pas une production en plus mais une production en moins de la substance organique, comme conséquence de la fumure azotée. Dans le cours de juillet, au contraire, quand les plantes avaient à leur disposition l'azote de poudre de corne, nous voyons non seulement que l'absorption de l'azote continue à augmenter, mais encore que la substance organique commence simultanément à être produite en plus grande quantité.

En tout cas, ce résultat d'une seule recherche aurait besoin d'être confirmé par d'autres expériences ; elles auraient à démontrer si les choses iraient de même en supposant que les plantes poussent plus vigoureusement qu'elles ne l'ont fait dans notre essai. La question en elle-même me semble avoir quelque importance ; car, d'après ce que nous venons de voir, on est disposé à penser que le chimiste agricole des temps modernes pourrait bien n'avoir pas tout à fait raison quand, de la manière dont les légumineuses se comportent vis-à-vis du nitrate de soude, il conclut tout simplement : Voilà comment ce groupe de végétaux se comporte à l'égard de la fumure azotée. Il semble, au contraire, bien possible que le praticien tienne plus exactement compte de la nutrition de la plante quand, dans la culture des pois et des fèves, il épargne le nitrate de soude mais non pas le fumier de ferme qui se décompose lentement.

Si nous avons cru nécessaire d'appeler l'attention sur la plus grande teneur en azote des pois nitratés, parce qu'elle est visible dans toutes les récoltes, nous n'osons cependant pas établir des comparaisons analogues relativement aux différents éléments minéraux. En examinant les récoltes 5 et 6, on est disposé à conclure que la fumure azotée a produit une augmentation dans l'absorption de la potasse, mais comme cela n'est pas démontré également par les premières récoltes, cette augmentation pourrait bien avoir d'autres causes inconnues ; il en est de même pour les différences en partie inverses dans la quantité des autres éléments nutritifs.

Nous allons maintenant étudier le rapport qui a été observé dans nos essais entre la production de la substance organique et l'absorption des principes nutritifs ; nous commencerons par les pois.

Une comparaison des chiffres des deux essais avec des pois Victoria fait voir une grande analogie ; nous pouvons donc les réunir de suite sans autre explication, et nous obtenons, comme moyenne des deux essais, le rapport suivant entre les pour cent de la substance organique formée et le tantième des principes absorbés.

DATES.	APRÈS la levée.	SUBSTANCE organique.	CENDRES sans acide silicique.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
	Jours.							
a. — Marche moyenne de la nutrition chez les pois Victoria.								
18 mai.	14	0 5	4.9	1.8	6.9	3.1	86	3.3
2 juin	29	8.7	17.3	11.6	29.6	11.5	28.7	8.9
17 juin	43	26.6	31.7	33.3	50.1	24 7	47.6	17.3
1er juillet	57	56.7	56.2	48.5	64.4	49.8	76.8	32.0
15 juillet.	71	86.0	78.6	73.2	77.7	85.6	89.5	66.1
29 juillet.	85	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
b. — Rapport entre l'augmentation centésimale des différents principes[1].								
Du 18 mai au 2 juin . . .	»	100	151	120	277	245	276	68
Du 2 juin au 17 juin . . .	»	100	80	121	115	106	58	47
Du 17 juin au 1er juillet. .	»	100	81	50	48	97	74	49
Du 1er juillet au 15 juillet.	»	100	76	84	45	44	83	116
Du 15 juillet au 29 juillet.	»	100	153	191	159	75	94	242

1. La première période, depuis la levée jusqu'au 18 mai, n'a pas été calculée en nombres proportionnels, parce que dans cette période la perte en substance organique par la respiration joue un trop grand rôle, mais la partie supérieure du tableau montre suffisamment que là où nous voyons une absorption relativement intense pendant la deuxième période, cette proportion a existé aussi dans la première période. Dans les premiers moments, il semble aussi qu'il y a une absorption intense de chaux et d'acide phosphorique.

Les chiffres de ce tableau nous montrent que le jeune pois a un besoin très intensif de potasse et de magnésie, et un besoin moins fort, mais encore nettement marqué, d'azote. Mais, le plus souvent, les quantités absolues, qui sont en question ici, sont peu importantes. Un regard jeté sur notre tableau montre immédiatement qu'en tenant aussi compte de l'importance absolue de l'absorption en plus, on pourrait conjecturer que le pois Victoria, dans sa jeunesse, éprouve seulement un besoin d'engrais de potasse et de magnésie. Pendant la maturation du fruit, nous nous trouvons de nouveau en présence d'un besoin intensif d'aliments, en première ligne de phosphore, ensuite d'azote, de potasse, enfin de chaux, mais de cette dernière en quantité minime. Si l'on voulait poser en principe qu'une absorption relativement intensive pendant la jeunesse n'est pas une propriété inhérente à la plante, mais une conséquence de la fumure, on pourrait bien demander : pourquoi l'absorption de l'a-

cide phosphorique était-elle si faible pendant la jeunesse, malgré une très abondante fumure avec du superphosphate ? Pourquoi la nutrition suit-elle la même marche dans les deux essais avec les pois Victoria? Évidemment, dans nos deux essais, l'augmentation de l'absorption a été provoquée par la nature de la plante et non par l'engrais.

Il n'est pas aisé d'établir un accord entre les résultats de la série d'essais avec les pois nains et ceux obtenus avec les pois Victoria, parce qu'à cause des dates où l'on a cueilli des échantillons, l'examen a porté sur des états de végétation différents. Mais si l'on fait le graphique du résultat avec les pois nains, on reconnaît immédiatement l'analogie de la direction des courbes chez les deux variétés de pois. Pendant la jeunesse de la plante, tous les principes nutritifs suivent le même cours dans les deux essais. A l'époque de la maturité, l'absorption de la chaux est un peu plus forte, celle de l'acide phosphorique, de la potasse et de l'azote un peu plus faible que dans les essais avec les pois Victoria.

Si l'on veut tirer de nos essais une conclusion relativement au besoin d'engrais des pois, on pourrait émettre la conjecture que les sels de Stassfurt, qui contiennent de la potasse et de la magnésie, pourraient être employés avec succès dans la culture de cette plante, puisqu'ils renferment les substances dont elle se montre assez avide dans sa jeunesse. D'autre part, on devrait choisir du fumier de ferme ou de la poudre d'os et des substances analogues pour satisfaire au besoin d'acide phosphorique et d'azote qui se manifeste avec une intensité particulière pendant la dernière époque de la végétation. D'après notre essai, le besoin d'engrais semble être plus fort dans la jeunesse et plus faible vers la fin de la végétation chez les pois des jardins précoces que chez les pois des champs, et nous pouvons voir ici quelque chose de semblable à ce que nous avons dit sur l'influence de la différence des variétés à propos de l'orge et de l'avoine, etc. Mais cette différence joue probablement un rôle moins grand chez les légumineuses que chez les céréales, parce que, d'après la direction de toutes les courbes, la riche assimilation de la jeune plante a en général une plus grande importance dans la culture des céréales que dans celle des légumineuses. Peut-être cependant le

faible rendement, donné dans nos essais surtout par les pois nains, doit-il être attribué en grande partie à l'impossibilité de faire ressortir l'absorption des principes nutritifs dans la jeunesse d'une manière plus forte que ne le font nos chiffres et nos courbes. Mais d'après notre essai cela ne pourrait être vrai que pour la potasse et principalement pour la magnésie, puisque nous avons vu qu'un apport d'azote n'amenait pas de changement dans la courbe et que l'acide phosphorique existait en tout cas en excès. En effet, indépendamment de celui qui se trouvait certainement dans le sol, n'a-t-on pas apporté dans l'engrais plus du double de la quantité d'acide phosphorique qui a été trouvé dans les plantes mûres ?

Voici ce que les essais nous révèlent sur la manière dont les fèves se comportent : De même que les pois, les fèves montrent dans la jeunesse un besoin très intensif de potasse et de magnésie, qui persiste jusqu'à la pleine floraison et quelquefois jusqu'à la naissance du fruit pour diminuer après cette époque.

Nous trouvons aussi un besoin plus grand d'azote pendant la jeunesse, mais il n'est guère saillant que pendant les premières semaines, et il est si peu considérable qu'il ne mérite pas de fixer notre attention.

Dès que la floraison commence, nous remarquons dans les deux essais une augmentation dans l'absorption de l'acide phosphorique, dont la marche ultérieure diffère quelque peu dans les deux essais. Cependant, ni dans l'un ni dans l'autre, l'augmentation dans l'absorption de l'acide phosphorique n'atteint un degré considérable, de sorte qu'un regard jeté sur les représentations graphiques des deux essais, depuis la levée jusqu'à la maturité, nous laisse cette impression que les deux variétés de la féverole suivent à peu près une marche analogue dans la production de la substance et dans l'absorption de l'acide phosphorique. L'absorption de la chaux ne suit pas non plus la même marche dans les deux essais ; mais le point essentiel à observer, c'est que jusqu'au milieu de l'époque de la maturité, il y a absorption intensive de ce principe. L'absorption intensive d'azote et d'acide phosphorique que nous avons remarquée vers la fin de la végétation dans les essais faits avec les pois n'est guère notable dans nos essais avec les fèves, car d'après le calcul

des moyennes qu'on trouvera plus loin l'augmentation centésimale de la substance organique par rapport à l'absorption de l'azote et de l'acide phosphorique est seulement comme 100 : 114 ou à 107, tandis que pour les pois Victoria nous avons obtenu les chiffres 191 et 242. Quant à l'absorption de la potasse, qui allait aussi en augmentant chez les pois dans les dernières semaines, nous ne voyons ici rien de pareil. Mais, d'après ce que nous avons déjà vu souvent, cette direction particulière des courbes, que nous avons observée chez plusieurs plantes marquant une préférence pour le fumier de ferme et que nous devions également attendre ici, se transforme en un parallélisme entre la production de la substance organique et l'absorption des éléments nutritifs, quand la nutrition est peu abondante. Cela n'est nullement en contradiction avec l'opinion que nous avons souvent exprimée sur l'importance de la direction verticale des courbes des principes nutritifs dans la jeunesse des plantes. Car si une plante, pour croître normalement, exige relativement une grande quantité de tel ou tel principe nutritif pendant la jeunesse, tout son développement souffre nécessairement si ce besoin n'est pas satisfait. Mais si un besoin plus intensif d'éléments nutritifs se manifeste seulement vers la fin de la végétation et n'est pas complètement satisfait, cette privation ne peut pas avoir un effet aussi nuisible, puisque la plante n'en souffre que pendant une seule période de végétation et non pendant toute la durée de son existence. Cette circonstance défavorable semble avoir joué un certain rôle dans nos essais avec les fèves, comme nous l'avons déjà mentionné plus haut en parlant de la quantité absolue de la récolte. Le grand nombre de cosses naissantes et le petit nombre de cosses développées pourraient bien être la conséquence de la privation d'éléments nutritifs pendant les dernières semaines de la végétation, qui trouve probablement son expression dans la direction des courbes des principes nutritifs à cette époque et qui nécessite une répétition de l'essai. Il n'y a donc pas lieu de penser que la différence des variétés ait produit des écarts déterminés dans la direction des courbes des fèves.

En prenant la moyenne des deux essais de fèves nous obtenons les chiffres suivants :

DATE.	DURÉE de la période.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES sans acide silicique.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.
	Jours.								
a. — Quantités absorbées ou formées en p. 100 des maximums.									
2 juin.	17	0.8	0.6	4.2	1.0	3.1	3.1	6.8	1.2
24 juin	22	18.9	15.8	27.5	19.0	34.3	21.8	31.6	8.3
11 juillet	17	47.0	35.4	66.5	28.1	63.1	45.7	54.3	36.3
29 juillet	18	74.4	72.0	85.9	68.2	83.0	84.5	78.9	70.1
21 août.	23	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
b. — Rapport entre la production de substance organique et la nutrition.									
2 juin jusqu'au 24 juin . .	»	»	100	153	118	205	123	163	47
24 — 11 juillet.	»	»	100	1[illegible]9	46	147	117	116	143
11 juillet jusqu'au 29 juillet	»	»	100	53	109	54	81	67	92
29 — 21 août.	»	»	100	50	114	61	55	75	107

Dans la partie inférieure du tableau nous laissons ici de côté la période depuis le commencement jusqu'au 2 juin pour la même raison que nous l'avons laissée de côté dans le tableau correspondant des pois.

Les conclusions à tirer de notre tableau relativement au besoin d'engrais des féveroles seraient à peu près analogues à celles que nous avons tirées de celui des pois. Si nous comparons enfin les courbes des essais de lupin avec celles des fèves, nous voyons qu'elles se ressemblent au point de vue qualitatif ; au point de vue quantitatif, elles doivent présenter une différence (qui existe en réalité) provenant du fait que la première période, caractérisée chez les deux plantes surtout par un besoin de potasse, dure plus longtemps chez les lupins et montre une direction moins verticale de toutes les courbes, que cela n'a lieu pour la même période chez les féveroles. Il en résulte que le besoin de potasse ressort plus fortement chez ces dernières.

État actuel de la question de l'azote.

Il s'entend de soi qu'à l'heure actuelle il est impossible de parler de la nutrition et de la fumure des légumineuses sans prendre posi-

tion dans la question brûlante du jour, connue sous le nom de question de l'azote.

Les légumineuses peuvent-elles absorber de l'azote libre?

D'après les essais de Hellriegel[1], il faut que nous regardions cette question tant discutée comme définitivement résolue. Quoiqu'on ne puisse pas encore dire d'une façon certaine comment les légumineuses résolvent ce problème, il semble cependant vraisemblable qu'il existe une symbiose entre certaines bactéries et les racines des légumineuses, et que ces bactéries servent d'intermédiaires pour l'absorption de l'azote libre. Loin de moi de vouloir diminuer la haute importance de cette découverte de Hellriegel pour la physiologie végétale et l'agriculture ; je voudrais néanmoins prémunir contre la conclusion que les légumineuses font usage, même dans la culture en plein champ, de la faculté qu'elles possèdent de puiser leur azote nécessaire dans l'atmosphère, quand elles se trouvent dans du sable absolument privé d'azote. Autrement on ne pourrait pas expliquer pourquoi il est rare de voir cultiver des féveroles sans une forte fumure de fumier d'étable, et pourquoi de tout temps la plupart des agriculteurs ont l'habitude d'employer dans la culture des pois, des vesces, ou du fourrage mélangé, non seulement du fumier de ferme, mais le fumier de ferme le plus riche en azote qu'ils puissent trouver dans leur exploitation. Autant qu'on en peut juger jusqu'à présent, voici, ce me semble, l'état des choses.

1. Hellriegel a démontré que les légumineuses, comme toutes les autres plantes, dépérissent sans azote fixé dans le sol si on n'apporte pas au champ d'essai une portion féconde de sol qui, d'après l'expérience, convient au végétal. Si l'on fait cette addition, les plantes traversent une période de famine (durant à peu près 14 jours) et se mettent ensuite à pousser vigoureusement : évidemment donc les bactéries du sol ajouté doivent s'habituer d'abord à vivre d'azote libre.

2. Frank, aussi bien que Hellriegel, ont démontré d'une façon

---

1. *Tageblatt der 59ten Naturforscherversammlung* (Berlin, 1886), p. 290. — *Zeitschrift des Vereins für die Rübenzuckerindustrie des deutschen Reiches,* 1886, p. 863 ; — *Tageblatt der 60ten Naturforscherversammlung* (Wiesbaden, 1887), p. 362.

certaine qu'il ne se formait pas de petits tubercules sur les racines des légumineuses dans les sols stérilisés. D'après cela il est au moins probable qu'il existe une relation entre la formation des tubercules et l'assimilation de l'azote libre.

3. Schindler a observé (*Journ. f. Landw.*, vol. 33, p. 325) que la quantité des tubercules des racines était d'autant plus petite que le sol était plus riche en azote ; Schultz Lupitz exprime aussi la même opinion et dans nos essais la différence était frappante.

4. Dans les essais qui ont été institués pour déterminer quantitativement l'absorption de l'azote libre par les légumineuses dans différentes conditions, on a obtenu les résultats suivants :

Atwater (d'après le rapport de H. v. Liebig, *Landw. Jahrb.*, 1885, p. 621) a donné des quantités variées d'azote à des sols placés dans des vases de différentes grandeurs. Si l'on calcule le quantum d'azote donné dans 1 kilogr. de sol mis à la disposition des plantes, et le taux d'azote contenu dans 1 kilogr. de sol, au delà de ce qui a été fourni par l'engrais, on arrive aux résultats suivants :

Dans la moyenne des huit essais dans lesquels on a donné aux plantes par 1 kilogr. de sable $59^{mg},4$ d'azote, la récolte contenait par 1 kilogr. de sol $29^{mg},5$ d'azote de plus que l'engrais, tandis que l'augmentation calculée de la même manière pour les vases ayant reçu une plus forte fumure d'azote, était seulement de $0^{mg},5$ d'azote.

Dans les essais qu'il a institués d'après le plan de Drechsler (*Journ. für Landw.*, t. XXXIV, p. 51 et suiv.), Strecker a reconnu le premier qu'en cultivant des lupins dans des landes pauvres, on trouve dans le sol et la récolte pris ensemble plus d'azote qu'il n'en existait dans les semences et le sol au commencement de l'essai, dans le cas seulement où le sol n'avait pas été fumé avec de l'azote, mais que le contraire avait lieu là où l'on fournissait aux lupins une alimentation riche en azote.

A l'époque où Strecker a publié ce travail, on ne connaissait pas encore la faculté que possèdent les racines des légumineuses, d'assimiler réellement de l'azote libre, et ce savant dut attribuer simplement au sol la fixation de l'azote, tandis que maintenant nous devons considérer comme cause du phénomène en question non seulement les réactions qu'il a constatées dans le sol, mais encore

cette action des racines. Parmi les nombreux résultats importants des travaux de Strecker, je cite seulement les suivants, en tirant chaque fois la moyenne arithmétique des nombres qu'il a obtenus à la suite de différentes analyses du sol :

NUMÉROS.	SOL.	KILOGR. de sol contenus dans le vase.	FUMURE.	AZOTE dans le sol, l'engrais et les semences.	AZOTE dans le sol et dans les plantes entières récoltées.	AZOTE Gain + Perte —
				gr.	gr.	gr.
I	Sable	6,50	Sans fumure	0,3440	1,2952	+ 0,9512
II *a*, *c*	»	6,50	Acide phosphorique, chaux .	0,3421	1,3080	+ 0,9659
VI	»	14,50	Acide phosphorique, et nitrate de soude.	1,4996	0,3099	— 1,1897
VII	»	17,50	Acide phosphorique, chaux, et poudre d'os.	2,9470	1,6381	— 1,3089
VIII	Terre	12,50	Acide phosphorique, chaux et kaïnite.	19,0148	18,9358	— 0,0790
IX	»	12,50	Acide phosphorique, chaux, kaïnite et azotate de soude.	21,7903	19,1024	— 2,6879

Wolff et Kreuzhage ont obtenu des résultats tout à fait analogues (*Landw. Jahrb.*, XVI, p. 674) ; ils se sont servis dans leurs essais de sable de rivière pauvre en azote, mais qui a dû contenir les bactéries nécessaires, puisque dans l'analyse des racines on a pu constater la présence de tubercules. Dans ses essais de 1886, Wolff a trouvé, en se servant de caisses cimentées d'une contenance de 210 kilogr., que la récolte des plantes suivantes contenait de l'azote en plus qu'il n'avait été fourni dans l'engrais :

	AVOINE.	FÉVEROLE.	LUPIN.	TRÈFLE rouge.
Sans fumure.	0 371	2.478	2.797	3.396
Sels sans azote.	0.388	4.689	9.572	8.352
Sels et très peu d'azote.	0.304	2.400	4.566	7.971
Sels et plus d'azote.	0.158	0.776	5.488	6.075
IDEM EN NOMBRES PROPORTIONNELS.				
Sels sans azote.		100.0	100.0	100.0
Sels et très peu d'azote.		51.2	47.7	95.4
Sels et plus d'azote.		16.6	57.3	72.7

Dans la représentation de ces résultats en nombres proportionnels, on ne s'est servi ni des plantes élevées sans fumure et privées de sels, ni de l'avoine, puisque les chiffres donnés plus haut démontrent que celle-ci a été obligée de se contenter des faibles quantités d'azote des semences et du sol. De même que l'essai d'Atwater et de Strecker, ces travaux d'un des plus grands chimistes agricoles de l'Allemagne nous montrent aussi que la faculté des légumineuses de s'assimiler de l'azote libre, diminue rapidement et considérablement, aussitôt qu'elles trouvent de l'azote fixé dans le sol sous une forme assimilable. Mais ce n'est certes pas un hasard que précisément cette légumineuse, que l'agriculteur pratique est habitué à ne jamais cultiver sans une forte fumure d'azote, je veux dire la féverole, possède la faculté d'absorber de l'azote libre à un degré bien moindre que le lupin et le trèfle.

Dans les travaux d'Atwater, de Strecker et de Wolff, nous voyons donc suffisamment que la faculté des légumineuses d'absorber de l'azote libre diminue dans la même proportion que la quantité de l'azote à leur disposition, qui se trouve fixé dans le sol et dans l'engrais, augmente. Si Dietzell, dans ses essais où les plantes (trèfle et pois) poussaient dans la terre végétale riche en azote, n'a pas pu constater une absorption d'azote atmosphérique, mais a trouvé au contraire une déperdition considérable, il n'y a pas de quoi s'étonner; nous apercevons là, au contraire, une confirmation précieuse du principe émis ci-dessus. A l'exception d'un seul pot dans lequel on a trouvé à la récolte, pour des raisons insuffisamment expliquées[1], deux fois plus d'azote que dans l'un des pots où l'on n'avait rien planté, la déperdition dans la moyenne de trois séries d'essais était :

Pois.	0gr,8567	ou 9.83
Trèfle	0 ,6588	ou 7.07

Ces faits nous expliquent comment il est arrivé que dans les essais de Frank, les lupins n'ont pas formé de tubercules dans le sol végétal stérilisé, parce qu'ils n'avaient sans doute pas la faculté

1. Probablement un effet de la fumure avec de l'acide phosphorique.

d'absorber l'azote atmosphérique, et qu'ils ont cependant poussé avec plus de vigueur que les lupins pourvus de tubercules dans le sol analogue non stérilisé. La situation a été précisément le contraire dans les essais de Frank où l'on a employé du sable mouvant marneux. En tout cas, l'azote fixé dans le sol a seulement suffi dans le premier cas pour nourrir les plantes d'essai, qui pour cette raison n'avaient pas besoin de recourir à l'azote atmosphérique, tandis que dans le sable mouvant cette absorption était une condition de leur bonne croissance.

De tous les travaux publiés sur la question de l'azote, nous pouvons donc tirer actuellement les conclusions suivantes :

1. Les légumineuses ont la faculté, probablement par symbiose avec les champignons, de vivre d'azote atmosphérique libre.

2. Elles usent largement de cette faculté dans le cas seulement où il n'existe dans le sol que très peu d'azote combiné.

3. S'il existe de l'azote combiné, toutes les légumineuses ne perdent pas avec une égale rapidité et au même degré la faculté d'absorber de l'azote libre.

4. Dans les sols à lupin, la faculté possédée par les légumineuses de fixer de l'azote libre a probablement une grande importance économique.

5. En ce qui concerne les sols meilleurs, l'agriculteur ne peut attribuer à cette faculté des légumineuses qu'une très faible et, le plus souvent, aucune importance économique.

6. Néanmoins, les légumineuses peuvent être désignées, même pour ces derniers sols, comme des accumulatrices d'azote, puisqu'elles ont le pouvoir de retenir tout l'azote fixé, qui entre ensuite peu à peu dans le sol sous une forme soluble, soit par la fumure, par les décompositions de combinaisons azotées insolubles, par la formation de la rosée, dans l'eau de pluie, soit parce que le sol l'absorbe directement dans l'air ou grâce à l'intervention de certains micro-organismes.

7. Cette faculté des légumineuses se rattache à ce fait que chez elles l'absorption de l'azote ne se fait pas comme chez les céréales : elle n'est pas considérable pendant un court espace de temps pour cesser ensuite presque entièrement, mais elle suit presque toujours

une marche à peu près parallèle à celle de leur croissance. A cela s'ajoute que cette absorption a surtout lieu en plein été, c'est-à-dire à l'époque où la plus grande partie d'azote combiné parvient de l'atmosphère au sol et où les décompositions dans le sol atteignent la plus grande intensité, tandis qu'à ce moment les céréales ont déjà cessé d'absorber de l'azote.

CONCLUSION

Arrivé à la fin de mon travail, je répéterai encore une fois que mon but n'a pas été de fournir à l'agriculteur de nouvelles recettes d'engrais ; je voulais seulement faire disparaître la contradiction qui existe encore de nos jours entre la théorie et la pratique de la fumure. L'une et l'autre auraient certainement fait de plus grands progrès dans ces dernières décennies si la grandeur et la solidité de la doctrine de Liebig n'avaient pas amené un grand nombre de théoriciens et de praticiens à ne voir dans l'engrais que ses propriétés chimiques et à laisser de côté tout ce qui ne pouvait pas être considéré comme une réaction chimique.

Un fait, par exemple, peut caractériser cette situation. Dans son ouvrage, d'ailleurs excellent et très répandu, sur la fumure[1], Wagner a consacré seulement une page et une ligne un quart aux effets du fumier de ferme. Évidemment cela peut aussi peu se justifier par une importance moindre du fumier dans l'exploitation agricole que parce qu'à notre époque il est traité et employé d'une façon plus rationnelle que les engrais du commerce. Mais on comprend facilement la prédilection des chimistes pour les engrais artificiels : leurs effets sont faciles à expliquer comme réactions chimiques, tandis qu'il est difficile d'exposer, sous une forme aisée à comprendre, la complexité des transformations et l'action du fumier de ferme. Si nous voulons avancer dans la théorie de l'engrais, il faut que nous cessions de juger de l'effet de la fumure d'après la fin des réactions, dont nous croyons avoir provoqué le cours en répan-

---

1. *Einige praktisch wichtige Düngungsfragen.*

dant les semences et en disséminant l'engrais. Il faut au contraire chercher à étudier les phénomènes physiologiques qui se succèdent dans la vie de la plante et qui nous indiquent la méthode la plus propre pour l'alimenter. Mais ici il ne suffit pas de se baser uniquement sur les enseignements généraux de la physiologie végétale. Il faut qu'une physiologie spéciale des différentes plantes culturales, c'est-à-dire la théorie de la culture spéciale des plantes devienne la base de nos théories de l'engrais. De nombreux enseignements nous sont déjà fournis par les expériences pratiques de l'agriculture et par les multiples essais de végétation, qui ont été un peu démodés dans ces derniers temps et dont nous avons tâché de donner un résumé dans le travail actuel.

L'observation pratique a montré entre autres choses qu'il faut distinguer entre le besoin d'aliments d'une plante, qui est indiqué par sa composition, et son besoin d'engrais. C'est là un fait, connu depuis très longtemps des agriculteurs et qui a été récemment apprécié à sa valeur par les chimistes agricoles et notamment par Wagner. La comparaison des essais de nutrition a fait voir que la représentation numérique et graphique du rapport qui existe entre la production de la substance organique et l'absorption des principes nutritifs, quand la végétation de la plante n'a pas été tout à fait anormale, est un moyen important pour reconnaître les causes de ce phénomène. En comparant les courbes de la substance organique avec celles de la nutrition, nous voyons partout de la façon la plus claire que :

a) Une augmentation relativement forte de cette dernière pendant la jeunesse de la plante indique la nécessité de l'apport de l'aliment en question sous la forme la plus facilement soluble des engrais artificiels (céréales, colza).

b) Plus la courbe de la substance organique est verticale pendant l'époque d'un besoin intensif d'aliments, plus le besoin d'engrais indiqué d'après *a* ressort fortement. (Orge. — Avoine et féverole. — Lupin.)

c) Une différence insignifiante ou un parallélisme approximatif dans la direction des courbes de la substance organique et de la nutrition indique que la plante exige des aliments se dissolvant peu à peu,

tels qu'ils se trouvent dans les résidus des fumures antérieures qui se décomposent lentement (trèfles) ou tel que l'azote qui arrive peu à peu de l'atmosphère dans le sol (trèfle et légumineuses).

d) Une direction relativement plus verticale des courbes de nutrition vers la fin de la végétation (pommes de terre, chou-rave, légumineuses) ou un besoin plus intensif d'aliments, qui se manifeste seulement en plein été, après quelque temps d'une végétation lente, c'est-à-dire à l'époque pendant laquelle les transformations dans le sol sont très actives, doit être considéré comme un signe que la plante en question (maïs, betterave à sucre, légumineuses, chou, chicorée) recevra avec reconnaissance une fumure de fumier de ferme qui se décompose lentement.

Il résulte de ces observations qu'un besoin d'engrais peut être identique à un besoin plus fort de nutrition à une époque quelconque de la végétation, et que la manière de le satisfaire dépend essentiellement de cette époque. Mais nous avons vu que le besoin d'engrais d'une plante peut être augmenté, ou diminué, ou même provoqué par son pouvoir plus faible de s'assimiler les principes nutritifs, et, en comparant l'orge et l'avoine nous avons reconnu, par exemple, que la cause de ce phénomène est dans la différence du développement quantitatif du système radiculaire.

Enfin, d'après l'observation faite par des praticiens habiles, que toutes les cultures artificielles modernes de variétés de céréales et de betteraves exigent une fumure plus intensive que les anciennes variétés agrestes de la même espèce, nous avons été obligé de reconnaître que le besoin d'engrais des plantes culturales est jusqu'à un certain point une propriété acquise par suite des formes de culture. C'est donc seulement en tenant compte de toutes les particularités qui se manifestent dans la végétation d'une plante et non point en considérant uniquement sa teneur en éléments nutritifs à l'époque de la maturité, qu'on peut décider pourquoi elle doit occuper telle ou telle place dans la rotation ou pourquoi il faut lui donner telle ou telle fumure.

Les travaux exécutés jusqu'à présent nous fournissent déjà de nombreux renseignements, mais, à tout prendre, nous avons seulement fait les premiers pas pour arriver dans ce domaine à la clarté

que les praticiens agricoles doivent exiger sur de telles questions de la part des représentants théoriques de leur profession. Il reste encore beaucoup de recherches à faire dans cette direction, et le but de notre travail serait rempli s'il poussait à une élucidation générale des questions qui y sont traitées[1].

---

1. On trouvera à la fin du fascicule les diagrammes qui reproduisent la marche de l'assimilation des principes nutritifs dans les plantes étudiées par M Liebscher dans son intéressant mémoire. Nous n'avons pas jugé indispensable de reproduire les nombreuses données analytiques qui accompagnent le travail de M. Liebscher Nous renverrons ceux de nos lecteurs qui voudraient les consulter au mémoire original. (*Journal für Landwirtschaft,* t. XXXV. Cahiers 3 et 4 [1887].)

(*Note de la Rédaction.*)

UN REBOISEMENT

ÉTUDE BOTANIQUE ET FORESTIÈRE[1]

Par M. P. FLICHE

PROFESSEUR A L'ÉCOLE FORESTIÈRE

Toutes les recherches de la géographie botanique ont démontré que l'homme est, à l'époque actuelle, l'agent le plus puissant pour modifier la distribution des espèces végétales à la surface du globe. Volontairement ou involontairement, il étend les aires de quelques-unes en les transportant sur des points où elles trouvent des conditions de végétation aussi favorables, quelquefois meilleures que dans leur pays d'origine. En même temps, par ces introductions d'espèces végétales, par la protection que la chasse ou l'industrie pastorale lui font accorder aux animaux herbivores, par la culture et les travaux de toute nature qu'il exécute à la surface du sol, il réduit singulièrement les aires de beaucoup de plantes, et il peut amener la disparition de quelques-unes.

Les végétaux forestiers, ceux qui constituent la forêt, comme ceux qui vivent sous l'abri qu'elle leur procure, ont eu beaucoup à souffrir de l'action de l'homme. La mise en culture du sol, l'exercice et bien souvent l'abus du pâturage les ont fait disparaître sur de grandes surfaces. Aussi, pendant longtemps, leur destruction presque seule a pu attirer l'attention des adeptes de la géographie botanique. Aujourd'hui, il n'en est plus de même; la reconstitution des forêts s'impose sur plusieurs points, soit comme mesure de défense contre les eaux torrentielles, soit comme mise en valeur de terrains que la culture extensive avait déboisés, et qu'une agri-

1. Mémoire communiqué à la *Société des sciences de Nancy* (mars 1888).

culture plus raisonnée abandonne aujourd'hui pour les restituer à la sylviculture.

L'étude de ces reboisements, faite au point de vue de la géographie botanique, me semble intéressante et pour la science pure et pour la pratique. Quand l'homme reboise, en effet, non seulement il introduit sur un sol où ils faisaient défaut, les arbres qu'il plante, mais encore, en créant de nouvelles conditions de milieu, il fait disparaître toute ou presque toute la végétation existante, en même temps qu'il favorise l'introduction d'une quantité d'espèces nouvelles pour la localité. Tous ces phénomènes obéissent à des lois qu'il est d'autant plus curieux de rechercher, que sous l'empire de considérations parfaitement justes, on a été amené à accorder dans la constitution des flores telles que nous les voyons aujourd'hui, une importance considérable aux états antérieurs de la végétation, aux migrations que les plantes ont effectuées sous la pression de changements dans le climat et dans les conditions géographiques. Tout ce qui nous renseigne sur les voyages des espèces, même, pour ne pas dire surtout, lorsqu'elles s'avancent progressivement sur de faibles espaces, présente par suite un réel intérêt. A côté de ce problème, il en est d'autres dont la solution trouve aussi des données dans l'étude des reboisements. Quelle influence, par exemple, le sol exerce-t-il sur la distribution des espèces, et quel obstacle peut-il parfois présenter à leur extension? Quelles sont les causes qui produisent des substitutions d'espèces ? Nous nous trouvons ainsi amenés à des questions de l'ordre le plus pratique pour le traitement des forêts.

Malgré l'intérêt qu'elles présentent aux points de vue que nous venons d'indiquer, nous ne possédons aucune étude complète de forêts provenant de reboisements faite dans cet ordre d'idées. Quelques rares observations, relatives aux plants qui apparaissent sur les sols boisés, ont été faites en particulier par Darwin et Büttner ; elles sont rapportées et assez mal discutées dans un livre de G. P. Marsh[1].

---

1. *Man and nature,* by Georges P. Marsh; Londres, 1864, au chapitre intitulé : *Small forest plants and vitality of seed.*

La rareté des documents relatifs à la question dont je viens de parler m'a donné la pensée d'exposer les observations que j'ai pu faire dans un bois de quelque étendue, en partie de création récente, en partie aussi formé de parcelles anciennement boisées. Il semble qu'avec des conditions aussi favorables, la végétation devrait présenter sur tous les sols semblables des caractères d'une grande uniformité. On verra qu'il n'en est rien. Mes recherches se sont poursuivies pendant un assez grand nombre d'années. Malgré cela, je ne me dissimule pas ce qu'elles ont d'incomplet. Mes visites de la forêt, assez nombreuses, mais bien souvent très courtes, ont eu lieu presque exclusivement au premier printemps et à l'automne, ce qui ne m'a pas permis de dresser un inventaire complet de la flore; toutefois, mes observations ont porté sur 387 espèces; les arbres, arbustes, arbrisseaux ont été étudiés d'une façon à peu près complète. Il y a donc là des éléments suffisants pour aborder l'examen de la question; les pages qui vont suivre sont cependant un essai. Elles ne sauraient, vu l'imperfection des documents, être considérées autrement, même pour la région où se trouve le bois qui en fait l'objet; à plus forte raison les conclusions qui les termineront n'auront point une valeur absolue, elles seront un simple document auquel il est désirable d'en voir joindre plusieurs autres se référant à des régions très différentes; c'est alors que l'on pourra se rendre un compte exact de la marche des espèces, de leur substitution, des causes de ces phénomènes, lorsqu'un terrain passe de l'état de champ ou de prairie permanente à celui de forêt.

Le bois de Champfêtu se trouve à 15 kilomètres environ à l'ouest de Sens (Yonne), il forme une petite masse d'un peu plus de 300 hectares au bord d'un vaste plateau qui, s'étendant de Troyes à Joigny, est limité au nord par la vallée de la Vanne, au-dessus de laquelle il s'élève de 100 mètres environ, et couvert en partie par la vaste forêt d'Othe. Placé entre deux grands vallons, le bois de Champfêtu présente plusieurs dépressions secondaires qui y aboutissent; les altitudes varient entre 172 mètres et 205 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La contrée est essentiellement formée, au point de vue géologique, par les calcaires friables connus sous le nom de craie et appar-

tenant au terrain crétacé qui lui doit son nom; sur le plateau celle-ci est recouverte par des argiles et des sables tertiaires d'une épaisseur variable qui n'est généralement guère inférieure à 10 mètres. Il en résulte que la terre végétale sur le plateau est argileuse ou sableuse, mais toujours très pauvre en chaux, tandis que sur les pentes, suivant que les éléments descendus du sommet sont plus ou moins abondants, on trouve les sols les plus variés, depuis des terres qui rappellent entièrement celles du sommet, jusqu'à celle qui n'est autre chose que de la craie réduite en poudre. En général cependant, ils sont riches en carbonate de chaux qui y est souvent en grand excès.

Au commencement du siècle, la plus grande partie du sol du bois actuel était en culture, mais on rencontrait çà et là, au milieu des champs, dix-huit parcelles boisées; en outre quelques ravins anciennement creusés par les eaux ne pouvaient être soumis à la culture, la végétation spontanée s'y était installée, et si on en juge par ce qu'on voit encore dans le pays, les espèces ligneuses n'en étaient pas exclues. Le terrain était coupé par de grands chemins existant encore aujourd'hui; enfin il faut noter aussi la présence de quelques mares creusées pour les besoins de l'homme et des animaux domestiques; le nombre s'en est accru, depuis la plantation, par suite d'extraction de terre glaise pour le service d'une tuilerie aujourd'hui disparue.

Les bois avaient alors une étendue de 70 hectares environ, mais tous n'avaient pas la même origine; quatre, probablement cinq, d'entre eux étaient de temps immémorial abandonnés à la végétation forestière. Un seul, le Buisson-Cartault, d'une contenance de $3^h,71$, d'après les documents que j'ai entre les mains, aurait fait partie de la forêt qui couvrait primitivement le pays. Les autres ont poussé, en partie au moins, sur des cultures abandonnées, comme le prouvent les restes de divers travaux, et notamment un puits. Dans tous les cas, l'état boisé y est certainement fort ancien et au moins antérieur à 1743, comme le montre un plan de cette époque[1]

1. Plan de la terre et seigneurie de Theil, etc., levé par Louis Gondet, arpenteur royal au bailliage de Sens, en l'année 1743. (Archives de l'Yonne. Fonds des familles, cote E, 210.)

sur lequel figurent, avec les grands ravins, les bois de la Garenne-de-Theil, du Buisson-Cartault, des Brosses et de Champfètu. Quant à la Garenne-de-Vaumort, le cinquième des bois qui me paraissent antérieurs à la confection de ce plan, il ne pouvait y figurer parce qu'il ne faisait point partie de la terre de Theil, mais son nom, comme l'état actuel de la végétation, milite en faveur de l'âge que je lui donne[1].

Entre 1743 et 1780 eut lieu la plantation de treize parcelles, car nous les voyons figurer sur un plan construit vers cette dernière date[2] et bien souvent avec des noms, tels que les Plantes ou les Boulins, indiquant leur récente origine.

Bois anciens et bois du dix-huitième siècle se trouvaient assez régulièrement répartis sur la surface de la forêt actuelle lorsque celle-ci fut définitivement constituée par de nouvelles plantations pendant les trente premières années du siècle environ. La distance entre les diverses parcelles boisées était faible. Si nous nous bornons à celles qui étaient antérieures à 1743, nous trouvons que l'éloignement maximum était en ligne droite de 988 mètres. Il semble que les conditions étaient aussi favorables que possible pour l'extension rapide des végétaux qui peuplaient les bois anciens et qu'on devrait rencontrer aujourd'hui un tapis végétal à peu près uniforme, au moins sur les sols de même constitution, sur ceux du plateau par exemple. Or, il n'en est rien, un botaniste, même médiocrement exercé, reconnaît facilement que la flore des parcelles anciennement boisées est beaucoup plus riche que celle des plantations du siècle, même des plus anciennes ; que certaines espèces y sont absolument parquées, que d'autres en sortent à peine ou bien y sont plus largement représentées. Les bois créés au dix-huitième siècle offrent une physionomie intermédiaire, se rapprochant même le plus souvent davantage de ceux de création récente. Quant aux mares, elles sont sans communication avec les eaux courantes et les

1. Depuis la rédaction de ces lignes, on m'a remis un acte notarié du 24 janvier 1770, montrant qu'à cette époque la Garenne-de-Vaumort existait déjà et n'était certainement pas un bois nouvellement planté.

2. Plan du territoire de la paroisse de Theil, élection de Sens, dressé par Paillon, arpenteur, vers 1780. (Archives de l'Yonne, série C, 74.)

marais du pays ; malgré cela, elles nourrissent un certain nombre d'espèces aquatiques et leur population végétale est d'autant plus variée qu'elles sont plus anciennes.

On voit qu'il y a là des phénomènes intéressants à constater et dont il importe de rechercher les causes, mais pour que cette étude puisse donner tous les résultats qu'on est en droit d'en attendre, il faut examiner comment le reboisement a été exécuté, quels en ont été les effets immédiats, et quels sont les caractères précis des diverses végétations qui couvrent aujourd'hui la forêt ; de là une première section de ce travail, qui sera suivie d'autres consacrées à la recherche des causes qui ont produit ces flores, et aux conclusions théoriques et pratiques qu'il est possible de tirer de ces recherches.

I.

Le boisement a été exécuté originairement par plantation de bouleaux et de saules marceaux sur tous les sols, quel qu'en fût l'élément minéral prépondérant. La première conséquence de cette méthode trop simple a été la non-réussite de l'opération sur les terrains très secs, la formation de vides, d'une étendue variant de cinq hectares à quelques ares, qu'on a cherché ensuite à boiser au moyen d'espèces mieux appropriées que celles dont il vient d'être question. Ce travail ne s'est pas fait toutefois sans beaucoup de tâtonnements ; si aujourd'hui on sait que les meilleurs arbres à employer sont certains conifères, au premier rang desquels il faut placer le pin noir d'Autriche, qui n'est qu'une variété du pin laricio, on n'est arrivé à ce résultat qu'après avoir essayé les espèces les plus variées, les moins adaptées parfois au sol sur lequel on opérait, et jusqu'à des arbustes tels que le cytise faux-ébénier. Quelques-uns des essais ainsi tentés ont donné lieu à des observations intéressantes, sur lesquelles on reviendra dans la suite de ce mémoire.

Quant aux sols plus frais, ils se sont couverts assez vite de bois pour qu'en général il n'y ait pas eu lieu de compléter le travail avec d'autres espèces que celles mentionnées plus haut ; cependant il y a eu quelques très petits vides que l'on a remplis avec des pins maritimes plantés d'ailleurs au moins autant à titre d'arbres d'orne-

ment que d'essences forestières. Le même motif a fait planter le long d'un chemin et sur 450 mètres de périmètre, des châtaigniers, le long d'un autre chemin des hêtres; des bordures de robiniers faux-acacias; çà et là aussi, dans les mêmes conditions, des ormes champêtres ont été plantés ou préexistaient; des érables sycomores ont orné quelques carrefours.

Tels ont été les travaux de création de la forêt; celle-ci a été ensuite laissée à peu près à elle-même; on a cependant répandu des glands de chênes dans quelques parcelles, garni des places claires avec des robiniers. Elle n'en a pas moins subi des modifications très remarquables qui ont amené la constitution de peuplements très différents de ceux qui avaient été créés à l'origine; les essences, telles que les chênes rouvre et pédonculé, le châtaignier, le hêtre, le charme, y jouent le rôle principal, en même temps que des essences secondaires non introduites artificiellement, telles que le tremble et le merisier, se rencontrent fréquemment.

Comme cela a déjà été dit plus haut, la substitution d'une forêt à un champ ou à une prairie n'a pas seulement pour résultat l'introduction sur le sol des grandes espèces ligneuses; en même temps qu'elles, arrivent avec plus ou moins de rapidité des arbustes, des arbrisseaux, des sous-arbrisseaux et le tapis végétal herbacé subit des modifications considérables. Le premier effet du boisement est de faire disparaître et très rapidement les plantes cultivées volontairement par l'homme, les céréales par exemple, ou bien celles qui, profitant des travaux exécutés en faveur de celles-ci, ne se rencontrent que dans les endroits cultivés et sont connues en pratique sous le nom de mauvaises herbes, le coquelicot (*Papaver rhœas*) et le bleuet (*Centaurea cyanus*) par exemple. On en voit encore quelques pieds l'année de la plantation, mais déjà les plantes des jachères leur font une forte concurrence; et l'année suivante, celles-ci, accompagnées déjà de quelques espèces herbacées communes dans les forêts, les *Helianthemum vulgare, Agrostis vulgaris, Holcus lanatus, Brachypodium sylvaticum,* par exemple, pour celle dont nous nous occupons, les ont définitivement éliminées[1]; elles ne

1. Une exception apparente est formée par le *Melampyrum arvense*. Voir l'appendice consacré à cette espèce.

reparaîtront plus que dans les jeunes taillis, rarement, lorsque leurs graines, apportées accidentellement par les hommes ou les animaux employés à l'exploitation, trouveront un sol nu, meuble, comme celui des places à charbon, où la végétation spontanée de la région ne leur fera pas concurrence. Les plantes des jachères elles-mêmes, lorsque la forêt normale se constitue, ne tardent pas à disparaître; mais plusieurs d'entre elles se maintiennent dans les vides; ce qui se comprend facilement, puisque, spontanées dans le pays, elles se rencontrent dans tous les endroits où la lumière et la chaleur solaire arrivent en quantité suffisante sur le sol.

Les plantes qui couvrent les vides sont, d'une façon générale, celles qui réclament de semblables conditions, celles aussi qui exigent la présence d'une forte quantité de chaux dans le sol, ou qui au moins la supportent; la plantation forestière ayant échoué, comme cela a été dit plus haut, surtout sur les sols calcaires. Cet échec n'a jamais été total; on rencontre çà et là des arbres isolés ou des bouquets de bois formés des essences qui constituent la forêt. Celles-ci envahissent d'ailleurs les espaces libres, si bien qu'ils sont destinés à disparaître et assez rapidement, non seulement par les travaux de plantation de conifères qu'on y effectue, mais même par la simple extension progressive de la forêt déjà constituée.

Les arbres qui se rencontrent dans ces vides n'ont rien de spécial; il en est de même le plus souvent pour la végétation ligneuse de petite taille; un sous-arbrisseau, l'*Helianthemum vulgare* (*L.*), Gaertn., et un arbuste, le *Juniperus communis L.*, forment seuls exception : espèces de pleine lumière, elles disparaissent dès que la forêt s'est constituée, après avoir été souvent très largement représentées sur le sol nu.

Quant aux plantes herbacées spéciales aux vides, elles sont nombreuses; ce sont : *Thalictrum minus L., Anemone pulsatilla L., *Iberis amara L., Arabis sagittata Bert., *Reseda lutea L., Linum austriacum L., L. tenuifolium L., Onobrychis sativa Lam., Coronilla varia L., Hippocrepis comosa L., Ononis repens L., O. natrix L., Anthyllis vulneraria L., Potentilla verna L., Poterium sanguisorba L., Buplevrum falcatum L., Seseli montanum L., Pimpinella saxifraga L., Eryngium campestre L., Asperula cynanchica L.,*

Scabiosa columbaria L., *Inula salicina* L., *Cirsium acaule* (L.) All., *Centaurea scabiosa* L., *Carlina vulgaris* L., *Leontodon hastile* L., *Campanula glomerata* L., *Gentiana cruciata* L., *Echium vulgare* L., *Veronica prostrata* L., *Rhinanthus major* Ehrh., *Melampyrum arvense* L., *Euphrasia nemorosa* Pers., *E. officinalis* L., *Orobanche epithymum* D. C., *Origanum vulgare* L., *Brunella alba* Pall., *B. vulgaris* L., *B. grandiflora* Jacq., **Ajuga chamæpitys* (L.) Schr., *Teucrium Botrys* L., *T. montanum* L., *Thymus serpyllum* L., *Stachys recta* L., **Polycnemum arvense* L., *Thesium humifusum* D. C., **Stellera Passerina* L., *Euphorbia cyparissias* L., *Orchis simia* L., *O. Morio* L., *O. conopsea* L., *O. purpurea* Huds., *O. bifolia* L., *Ophrys arachnites* Reich., *O. anthropophora* L., *O. myodes* Jacq., *Cephalanthera grandiflora* (L.) Bab., *Phleum pratense* L., var. *nodosum* Gaud., *Festuca duriuscula* L., *Kœleria cristata* Pers.

La plupart de ces espèces sont au nombre des plus communes au bord des chemins, dans les endroits vagues, les pelouses sèches de la région ; aussi les rencontre-t-on dans tous les vides, et très uniformément réparties ; quelques-unes, telles que les *Thalictrum minus, Linum Austriacum, Ononis natrix,* sont plus rares dans le pays, ne se rencontrent que dans certains vides, mais y sont en général uniformément répandues ; d'autres enfin, encore plus rares, n'occupent que de très faibles surfaces, telles sont les *Anemone pulsatilla* et *Gentiana cruciata*. Quant aux espèces marquées d'un astérisque, elles méritent à peine de figurer sur cette liste ; ce sont des plantes des cultures ou des jachères qui se trouvent seulement dans les endroits où la craie, à raison de sa stérilité, ne s'est pas couverte d'un tapis végétal, ou bien dans les déchirures de gazon produites par les voitures employées à la traite des bois.

Dans les cantons où la forêt résulte de plantations faites depuis le commencement du siècle actuel, on trouve les arbres suivants : **Tilia grandifolia* Ehrh., **Ailanthus glandulosa* Desf., **Acer pseudo-platanus* L., **A. platanoides*, **Robinia pseudo-acacia* L., +*Cerasus acida* Mill., *C. avium* (L.) Mœnch., +*Pirus salvifolia* D. C., *P. communis* L., +*Malus communis* Poir., *M. acerba* Merat., *Sorbus torminalis* (L.) Crantz., *S. domestica* L., +*S. aucuparia* L., **Fraxinus*

excelsior L., + *Castanea vulgaris* Lam., *Quercus pedunculata* Ehrh., *Q. sessiliflora* Smith., * *Q. ilex* L., *Carpinus betulus* L., *Populus tremula* L., * *P. nigra* L., * *P. alba* L., *Salix alba* L., *Betula verrucosa* Ehrh., *B. pubescens* Ehrh., *Alnus glutinosa* Gaertn., *Larix europæa* D. C., * *Picea vulgaris* Link., * *Abies pectinata* D. C., *Pinus sylvestris* L., * *Pinus laricio* Poir., var. *austriaca*, * *P. pinaster* Soland., * *P. strobus* L.

Les espèces marquées d'un astérisque sont étrangères à la localité, leur introduction dans la forêt, où elles prospèrent d'une façon très inégale, est due uniquement à l'intervention de l'homme ; celles qui sont marquées d'une croix sont également étrangères, mais, cultivées à des titres divers, elles se répandent dans les bois par l'action des forces naturelles, sans moyens artificiels. On reviendra plus loin sur les phénomènes remarquables présentés par les arbres de ces deux catégories.

Aux végétaux ligneux, de plus ou moins grande taille, qui viennent d'être énumérés se joignent des arbustes, des arbrisseaux, des sous-arbrisseaux qui sont les suivants : * *Vitis vinifera* L., *Frangula vulgaris* Reichb., *Sarothamnus vulgaris* Wimmer., *Ulex europæus* L., * *Cytisus laburnum* L., * *Colutea arborescens* L., * *Cerasus Mahaleb* (L.) Mill., *Prunus spinosa* L., + *P. insititia* L., *Rubus cæsius* L., *R. fruticosus* L., *Rosa rubiginosa* L., *R. sepium* Teill., *R. canina* L., *Mespilus germanica* L., *Cratægus oxyacantha* Jacq., *C. monogyna* Jacq., * *Cornus mas* L., *C. sanguinea* L., *Viburnum opulus* L., *V. lantana* L., *Lonicera periclymenum* L., *L. xylosteum* L., *Calluna vulgaris* Salisb., *Ligustrum vulgare* L., *Corylus avellana* L., *Salix caprea* L., *S. aurita* L.

Les signes qui accompagnent les noms de certaines espèces ont la même signification que pour les arbres.

Sous le couvert de ces espèces ligneuses, interrompu en partie et périodiquement par les exploitations, se développe un tapis végétal formé des espèces herbacées suivantes : *Viola canina* L., *Hypericum perforatum* L. !, *Vicia sepium* L. !, *Cracca tenuifolia* G. G., *Medicago lupulina* L. !, *Lattyrus tuberosus* L. ?, *L. pratensis* L., *Lotus corniculatus* L., *Trifolium repens* L., *Fragaria vesca* L., *F. collina* Ehrh., *Potentilla reptans* L. ?, *Agrimonia eupatoria* L.,

**Lythrum hyssopifolium L., *Sedum elegans Ly., Daucus carota L., Knautia arvensis (L.) Coult., Scabiosa succisa L. !, Solidago virga-aurea L., Senecio jacobæa, Leucanthemum vulgare Lam. !, Achillea millefolium L., Centaurea jacea L., Hieracium umbellatum L., H. murorum L., * Pyrola rotundifolia L., Monotropa hypopitys L., Erythræa centaurium (L.) Pers. !, Orobanche rapum Thuil., Betonica officinalis L. !, * Teucrium Botrys L., Clinopodium vulgare L., *Convallaria maialis L., Orchis montana Schmidt., Epipactis latifolia All., Neottia nidus-avis (L.) Rich., Juncus conglomeratus L., J. effusus L., J. bufonius L., Luzula campestris D. C., L. multiflora Lej., L. Forsteri D. C. !, Carex præcox Jacq., C. glauca Scop., Agrostis vulgaris Witth., Phleum pratense L., Holcus lanatus L., Dactylis glomerata L., Briza media L., Brachypodium sylvaticum (L.) P. B., B. pinnatum (L.) P. B., Anthoxanthum odoratum L., Setaria viridis (L.) P. B., *Asplenium trichomanes L., Polystichum filix-mas (L.) Roth., P. spinulosum D. C., *Athyrium filix-femina (L.) Roth.*

Les espèces marquées d'un astérisque ont une seule station (le *T. botrys* en a deux, mais l'une et l'autre artificielles) ; celles qui sont suivies d'un ! sont plus communes dans les bois antérieurs au siècle actuel, le ? indique des espèces trouvées seulement à proximité de ces dernières. Les cantons qui ont été plantés au dix-huitième siècle renferment les espèces qui viennent d'être énumérées et en outre les suivantes, dont quelques-unes commencent à se répandre, mais très exceptionnellement dans les jeunes bois : *Ranunculus auricomus L. !, Anemone nemorosa L., Viola sylvatica L., V. hirta L., Polygala vulgaris L., Dianthus armeria L. !, Stellaria holostea L., Genista tinctoria L., Lathyrus sylvestris L., Geum urbanum L., Primula officinalis L. !, Veronica chamædrys L. !, Teucrium scorodiana L. !, Aira caryophyllea L.*

Au-dessus de ce tapis végétal on trouve une végétation buissonnante composée des espèces qui se rencontrent dans les plantations plus jeunes et en outre des suivantes : *Clematis vitalba L., +Evonymus europæus L. !, Ilex aquifolium L., +Rhamnus cathartica L. !, Ribes uva-crispa L., +Hedera helix L.*

Les espèces dont le nom est suivi d'un ! sont plus abondantes dans

les bois d'origine antérieure ; quant à celles marquées d'une croix, elles commencent à pénétrer très faiblement dans les plantations.

Les arbres sont en général les mêmes que dans celles-ci, avec des différences notables dans les proportions des sujets ; ainsi le bouleau fait presque complètement défaut dans les bois plus anciens ; les espèces marquées d'un astérisque dans la première liste ne s'y trouvent pas non plus ; deux arbres seulement s'y rencontrent plus abondamment, tout en ne faisant pas complètement défaut dans les plantations ; ce sont l'*Acer campestre L.* et l'*Ulmus campestris L.*

Les bois anciens se rapprochent entièrement des précédents en ce qui concerne les végétaux ligneux ; un seul arbre, le *Tilia parvifolia Ehrh.*, leur est spécial ; quant aux arbustes ou arbrisseaux, on ne peut guère citer que le *Solanum dulcamara L.*, qui même commence à pénétrer dans les bois plus jeunes. Le *Sambucus nigra L.* s'y rencontre aussi exclusivement, mais cette espèce, peu appropriée au pays, y est à peine représentée et de la façon la plus chétive. Enfin, le *Rosa arvensis L.*, tout en se rencontrant dans toute la forêt, est beaucoup plus commun dans les bois anciens.

Si la végétation ligneuse de ceux-ci est à peine plus riche que celle des cantons où l'état boisé est plus récent, il n'en est pas de même pour le tapis végétal herbacé ; à la plupart des espèces mentionnées précédemment s'ajoutent les suivantes : *Ranunculus repens L.*, + *R. acris L.*, *R. nemorosus D. C.*, *Ficaria ranunculoides Mœnch.*, *Sinapis arvensis L.*, *Barbarea vulgaris R. B.*, *Lepidium campestre R. B.*, *Lychnis vespertina Sibth.*, *Mœhringia trinervia (L.) Koch.*, *Arenaria serpyllifolia L.*, *Stellaria graminea L.*, *Linum catharticum L.*, *Hypericum humifusum L.*, *H. montanum L.*, *H. pulchrum L.*, *H. hirsutum L.*, *H. tetrapterum Fries.*, *Geranium dissectum L.*, *G. columbinum L.*, *G. Robertianum L.*, *Erodium cicutarium L'Herit.*, *Trifolium arvense L.*, + *T. medium L.*, *T. campestre Schreb.*, *Ervum hirsutum L.*, *Vicia sativa L.*, + *Potentilla tormentilla Nestl.*, + *P. fragariastrum Ehrh.*, *Alchemilla arvensis Scop.*, + *Epilobium tetragonum L.*, *E. parviflorum Schreb.*, ° *Herniaria glabra L.*, *H. hirsuta L.*, *Scleranthus perennis L.*, + *Sedum fabaria Koch.*, + *Sanicula europæa L.*, + *Heracleum Spondylium L.*, *Conium*

maculatum L., Chærophyllum temulum L., + *Torilis helvetica Gmel., Galium verum L.,* + *G. album Lam.,* + *G. cruciata (L.) Scop., G. sylvestre Poll., G. aparine L., Asperula odorata L., Dipsacus sylvestris Mill., Gnaphalium sylvaticum L., G. luteo-album L., G. uliginosum L., Filago germanica Willd., Filago gallica L., F. spathulata Pressl., Erigeron acris L., E. Canadensis L.,* + *Bidens tripartita L.,* + *Senecio vulgaris L., S. sylvaticus L., S. erucifolius, Matricaria inodora L., Inula coniza D. C., Tussilago farfara L., Calendula arvensis L., Carduus nutans L., Cirsium eriophorum Scop.,* + *C. lanceolatum Scop., C. arvense Lam., C. palustre (L.) Scop., Centaurea cyanus L.,* + *Lappa minor D. C.,* + *Lampsana communis L., Hypochœris radicata L., Thrincia hirta (L.) Roth., Taraxacum officinale Wigg., Sonchus asper Willd., Crepis setosa Hall., C. virens L., Jasione montana L., Campanula rotundifolia L.,* + *C. rapunculus L., Anagallis arvensis L.,* + *Myosotis sylvatica Hoffm., Solanum nigrum L.,* ° *Verbascum lychnitis L., V. Thapsus L., V. blattaria L.,* + *Veronica serpillifolia L.,* + *V. officinalis L., Melampyrum pratense L., M. cristatum L., Linaria minor L.,* + *L. elatine Mill., Scrophularia nodosa L., Lycopus europæus L., Glechoma hederacea L., Nepeta cataria L., Ajuga reptans L., Teucrium chamædrys L., Mentha rotundifolia L., Galeopsis ladanum L., G. tetrahit L., Galeobdolon luteum Huds., Verbena officinalis L.,* ° *Chenopodium acutifolium Sm., C. album L., C. viride L., Polygonum convolvulus L., P. aviculare L., Rumex acetosa L., R. nemorosus Schr., R. acetosella L., Euphorbia helioscopia L., Mercurialis annua L., Iris fœtidissima L., Ruscus aculeatus L.,* + *Polygonatum multiflorum L., Tamus communis L., Arum maculatum L., Luzula pilosa (L.) Willd., Carex remota L., C. sylvatica Huds., C. muricata L., Alopecurus agrestis L., Festuca scuroides Roth.,* + *F. rubra L.,* + *Poa annua L., P. trivialis L., P. nemoralis L., P. angustifolia L.,* + *Milium effusum L., Avena sativa L., A. flavescens L., Holcus mollis L., Danthonia decumbens D. C., Bromus secalinus L., B. asper L., B. sterilis L., Aira multicaulis Dum., Cynosurus cristatus L., Arrhenatherum elatius M.,* type et var. *bulbosum Gaud.*

Les espèces marquées d'une + sont un peu sorties des vieux bois ; dans ce cas, on ne les rencontre, en général, qu'à proximité de ceux-

ci dans une zone sur laquelle, lorsqu'aucun chemin ne vient former un obstacle, ils exercent une influence incontestable. Cette zone qu'on rencontre rarement, parce qu'il y a presque toujours des chemins limites de cantons, est d'ailleurs fort étroite; elle ne dépasse pas 30 mètres entre les cantons de Champfêtu et des Joncs-Marins, l'endroit où elle est le plus nette. Les espèces marquées d'un ° n'ont été rencontrées que sur d'anciennes places à charbon; il suffit de jeter les yeux sur les listes qui précèdent pour se rendre compte de la richesse incomparablement plus grande de la flore dans les anciens bois; quelques chiffres se référant à des parcelles prises parmi les mieux étudiées feront nettement ressortir ce fait. Ainsi la vente Henri (jeune bois) d'une contenance de $9^h,77^a,80$ a fourni 74 espèces; Champêftu (vieux bois) $11^h,67^a,30$ (154); les Brosses (vieux bois) $10^h,57^a,30$ (120). La différence, on le voit, est considérable entre les bois des deux catégories. Il est bon même de faire remarquer que la vente Henri, choisie comme type des jeunes bois parce qu'elle a été mieux étudiée que les autres, parce qu'aussi elle renferme, comme Champfêtu et les Brosses, un peu de sol calcaire, est en réalité plus riche qu'elle ne devrait être à cause de buissons d'épines qui se trouvaient certainement sur son périmètre avant la plantation. Un canton de jeunes bois, d'une contenance totale de $10^h,34^a,10$, la Lune, renferme un petit ravin de $17^a,50$. Or, sur 115 espèces dont la présence a été constatée, 68 lui sont spéciales ou s'étendent fort peu sur les bords, c'est-à-dire qu'il est deux fois plus riche, malgré sa très petite étendue, que le reste de la coupe.

Quant aux mares, elles nous présentent un seul végétal ligneux spécial, c'est un grand arbuste, *Salix cinerea L.*, mais plusieurs végétaux herbacés qui vivent à l'état de submersion ou de flottaison plus ou moins complète et dans la terre très et constamment humide, s'y rencontrent exclusivement. Ce sont : *Ranunculus aquatilis Dodon., R. flammula L., Lythrum salicaria L., Galium palustre L., Bidens tripartita L., Lysimachia vulgaris L., Veronica scutellata L., Lycopus europæus L., Alisma plantago L., Lemna minor L., Sparganium simplex Huds., Potamogeton natans L., Juncus lamprocarpus Ehrh., J. acutiflorus Ehrh., Eleocharis palustris R. B., Carex Goodenowii Gay, Glyceria fluitans R. B.*

Le nombre de ces espèces aquatiques est peu considérable, les mares qu'elles habitent sont de faible étendue ; nous pouvons donc les négliger quant à présent, sauf à étudier plus tard les causes qui facilitent ou retardent leur dispersion.

Pour les espèces qui habitent la forêt, il y a quelque intérêt à examiner comment elles se répartissent dans les familles au point de vue de la facilité avec laquelle elles se répandent. Les différents groupes d'espèces qui viennent d'être énumérés appartiennent à 71 familles. Dans le nombre, il en est 13 qui sont sans intérêt au point de vue qui nous occupe, parce qu'elles renferment exclusivement des plantes aquatiques, parce qu'elles sont à peine représentées, que les conditions de sol ou de climat leur sont manifestement contraires, ou que le mode de traitement de la forêt les empêche de produire régulièrement et abondamment des fruits. Ce sont les *Résédacées, Tiliacées, Ilicinées, Lythrariées, Paronychiées, Crassulacées, Grossulariées, Hédéracées, Amarantacées, Ulmacées, Alismacées, Lemnacées, Potamées*. Restent 58 familles sur lesquelles dix-neuf, c'est-à-dire les **Cistinées, *Linées, Amygdalées, Pomacées, Cornées, Caprifoliacées, Éricinées, Monotropées, Oléacées*[1], *Orobanchées, *Plantaginées, *Santalacées, *Euphorbiacées, Cupulifères, Corylacées, Salicinées, Bétulacées, Cupressinées, Orchidées,* se répandent rapidement ou très rapidement. Celles de ces familles qui sont marquées d'un astérisque se rencontrent exclusivement ou presque exclusivement dans les vides, ce qui réduit à 13 le nombre des familles appartenant à la flore forestière proprement dite, dont l'expansion est rapide. Les *Polygalées* appartiennent aussi à la catégorie qui nous occupe, mais à un moindre degré ; en outre, elles sont représentées par une seule espèce dont l'expansion est singulièrement favorisée par sa présence sur les chemins. Les *Abiétinées* paraissent aussi se répandre assez facilement, mais leur non-spontanéité, la difficulté avec laquelle elles luttent contre les espèces indigènes, ne permettent pas, en ce qui les concerne, des conclusions très rigoureuses. Vingt-huit familles se propagent avec une grande ou une

1. Le genre frêne, représenté par le *Fraxinus excelsior,* se répand fort peu, mais il n'est pas spontané dans la forêt et sa végétation y laisse beaucoup à désirer.

très grande lenteur, ce sont les *Renonculacées, Crucifères, Violacées, Silénées, Alsinées, Hypéricinées*[1], *Acérinées, Géraniées, Célastrinées, Onagrariées,* **Ombellifères,* **Rubiacées,* **Dipsacées,* **Campanulacées, Gentianées, Primulacées,* **Borraginées, Solanées, Verbascées,* **Scrophularinées,* **Labiées, Verbénacées, Chénopodées, Polygonées, Urticées, Asparaginées, Dioscorées, Aroïdées.* Les familles dont les noms sont marqués d'un astérisque renferment des espèces qui habitent les vides, et dont l'expansion y est rapide, sous les réserves faites précédemment. Les *Pyrolacées* rentrent aussi dans la catégorie des plantes à expansion très lente, en ce que l'unique espèce observée n'est pas sortie de l'étroite surface sur laquelle elle s'est installée. Mais elle y est arrivée par un de ces transports à grande distance sur lesquels on reviendra plus loin. Les *Fougères* font aussi partie de la catégorie qui nous occupe ; leur expansion pendant 75 ans environ a été à peu près nulle, mais — et c'est en cela qu'elles diffèrent des autres familles que nous venons d'énumérer, — depuis quelques années, elles apparaissent sur un assez grand nombre de points sans couvrir cependant de grandes surfaces.

Enfin six familles présentent à la fois des espèces dont la marche est très rapide, et d'autres qui en ont en forêt une lente ou très lente ; ce sont les *Papilionacées, Rosacées, Synanthérées, Juncées, Cypéracées, Graminées.*

Il est intéressant aussi de rechercher s'il y a quelque relation entre la consistance des tiges, la durée de la vie des espèces, et leur présence plus ou moins exclusive dans les anciens bois. On a vu plus haut qu'en général les espèces ligneuses se rencontrent à peu près partout, qu'il y a à peine des exceptions pour les arbres, et que pour les arbustes, arbrisseaux et sous-arbrisseaux, elles sont peu nombreuses ; il est inutile de revenir ici sur ce qui a déjà été dit. Si, pour les plantes herbacées, nous recherchons quelle est la proportion des espèces annuelles ou bisannuelles à la totalité des formes observées dans chacun des types de végétaux que nous avons séparés, nous arrivons à de curieuses constatations, qui, on le verra,

1. Sauf l'*Hypericum perforatum* qui se propage assez rapidement, favorisé qu'il est par les chemins.

jettent un certain jour sur les causes qui font différer si profondément chacun de ces types.

Dans les vides nous trouvons 13 espèces annuelles, 49 vivaces, au total 62, soit 20 p. 100 d'espèces annuelles.

Dans les jeunes bois, 8 espèces annuelles, dont il y a lieu de défalquer 2 qui n'ont été trouvées que sur des places à charbon, reste 6 ; 51 vivaces, au total 57, soit 10 p. 100 d'espèces annuelles.

Dans les vieux boïs 72 espèces annuelles, dont il y a lieu de défalquer 10 qui n'ont été trouvées que sur des places à charbon, ou qui sont des céréales et des plantes accompagnant exclusivement ces dernières, reste 62 ; 69 vivaces, au total 131, soit 47 p. 100 d'espèces annuelles. Il est bon de remarquer toutefois que, pour arriver à ce chiffre, on n'a tenu compte que des espèces spéciales aux vieux bois ; en réalité, on peut admettre qu'avec celles-ci on trouve toutes celles des jeunes bois, ce qui donnerait un total de 68 espèces annuelles, sur 188 rencontrées, soit 36 p. 100. Cette proportion est certainement un peu faible, parce que toutes les espèces annuelles se trouvent dans les vieux bois et en abondance, tandis que des espèces vivaces, surtout parmi les végétaux ligneux introduits, ont à peine pénétré dans les vieux bois, ou même ne s'y trouvent pas du tout. On peut donc affirmer que les vieux bois sont beaucoup plus riches en espèces annuelles que les jeunes ; que les autres sont, sous ce rapport, intermédiaires entre les bois des deux catégories.

Un autre fait remarquable se rattachant au précédent, c'est qu'on trouve dans les vieux bois plusieurs espèces rudérales qui font défaut dans les jeunes. Ce sont *Conium maculatum L., Dipsacus sylvestris Mill., Cirsium eriophorum Scop., Lappa minor D. C., Solanum nigrum L., Verbascum Thapsus L., V. blattaria L., Verbena officinalis L., Chenopodium acutifolium Sm., C. album L., C. viride L., Polygonum aviculare L.*

II.

Lorsqu'on cherche à se rendre compte des causes qui ont amené l'état de choses que nous venons de décrire, la première idée qui

se présente à l'esprit est que les espèces de rapide expansion, celles qui aujourd'hui se trouvent partout sont celles dont les graines sont abondantes et se dispersent facilement, tandis que les plantes restées confinées dans les vieux bois se trouveraient dans des conditions précisément inverses. On verra plus loin quelles graves objections soulève cette vue de l'esprit considérée comme une explication, suffisante à elle seule, des phénomènes ; le plus rapide coup d'œil jeté sur les listes qui ont été données montre que, parmi les espèces de la plus faible extension, il en est dont les graines sont transportées avec la plus extrême facilité par les agents naturels, le vent en particulier. Il n'en reste pas moins vrai que beaucoup d'espèces, que des groupes d'ordre supérieur même, doivent la rapidité avec laquelle ils envahissent le sol à la facilité que leurs graines ou leurs fruits offrent au transport par le vent ou par les animaux. Le rôle important de ceux-ci dans la dissémination des espèces végétales se montre ici, comme partout, de la façon la plus évidente. C'est parce qu'elles ont des fruits charnus très recherchés des oiseaux que les *Amygdalées,* les *Rosacées* des genres *Rosa, Rubus, Fragaria,* les *Pomacées,* les *Cornées,* les *Caprifoliacées,* les *Oléacées,* les *Cupressinées* du genre *Juniperus,* se répandent partout si facilement. Quelques espèces semblent faire exception, les *Rhamnus* par exemple, plusieurs *Asparaginées,* mais leurs fruits sont plus ou moins vénéneux. Les grosses graines charnues des *Cupulifères,* des *Corylacées,* en entraînent aussi la facile dispersion par certains oiseaux, les geais, pies, etc.

Les espèces dont les graines, très petites, sont du type qu'on a désigné sous le nom de scrobiformes, ont un pouvoir de dissémination au moins égal aux précédentes ; c'est ainsi que l'on voit apparaître avec la plus grande rapidité, et souvent à de grandes distances des pieds qui ont fourni les graines, les *Pyrolacées, Monotropées, Orchidées.* Il me semble très probable qu'elles sont si facilement transportées, d'une part à cause de la très faible résistance qu'elles opposent au vent, d'autre part à raison de l'extrême facilité avec laquelle elles peuvent adhérer à diverses parties du corps des oiseaux. Les espèces à fruits ou graines aigrettées, tout en ayant une dispersion facile, ne viennent en général que bien après les précédentes ; ce-

pendant, quand elles ont des graines très légères, ce qui est le cas pour les *Salicinées,* la dissémination est encore d'une remarquable facilité et à de grandes distances. Quelques *Synanthérées* à fruits aigrettés, les *Solidago* et les *Hieracium* par exemple, se répandent aussi, rapidement, mais à de moindres distances.

Les graines pourvues d'une aile et les fruits du type des samares se disséminent encore moins facilement que les précédentes ; il y a lieu d'ailleurs de faire la même observation que pour ceux-ci ; quand le fruit ou la graine sont très petits, le vent les porte à cent mètres et plus de l'arbre qui les a produits, c'est ce qu'on observe pour les bouleaux ; tandis que dans les conditions inverses, pour les érables par exemple, la dissémination ne paraît se faire qu'à une distance de quelques mètres du porte-graines.

La localisation de certaines espèces ligneuses, lorsqu'elles ont été introduites dans le bois de Champfêtu, permet de se rendre un compte très exact de leur marche, de la distance maximum à laquelle elles ont été portées par le vent ou les oiseaux, de donner, en un mot, des chiffres exacts pour cette progression sur laquelle nous n'avons jusqu'à présent que des données très vagues. Ainsi parmi les espèces à grosses graines charnues, le hêtre a été porté au maximum de 500 à 600 mètres, le châtaignier de 500 à 550 mètres ; parmi les espèces à fruits charnus pulpeux, le sorbier des oiseleurs a été porté certainement à 1 400 mètres, et très probablement même jusqu'à 2 100 mètres. Il y a un peu d'incertitude pour ce dernier chiffre, parce qu'il n'est pas impossible que le pied dont la présence a été constatée à cette distance des sujets adultes de Champfêtu, soit provenu d'une graine apportée d'un parc plus rapproché, quoique cela me semble peu vraisemblable. Quant aux espèces à graines ailées, les pins sylvestres se sont rencontrés à 115 mètres des porte-graines.

Ces progressions sont assez faibles et en se basant sur elles on voit que la marche de beaucoup d'espèces ligneuses de grande taille, même lorsque leur dispersion est favorisée par les oiseaux ou par le vent, demande des laps de temps fort longs. Si nous cherchons à nous en rendre compte en déterminant le nombre d'années qu'elles mettraient à franchir une distance déterminée, celle de Nancy à Paris,

qui, en ligne directe, est d'environ 280 kilomètres, nous voyons qu'il faudrait :

Hêtre[1]	18 640 ans.
Châtaignier.	12 925 —
Sorbier des oiseleurs.	2 000 ou seulement 1 330 ans.
Pin sylvestre.	48 680 ans.

Il ne faut pas d'ailleurs attacher à ces chiffres une valeur absolue ; il me semble très probable qu'on pourra observer des rapidités de progression annuelle plus grandes pour les espèces qui viennent d'être étudiées, et d'après quelques faits moins certains que ceux sur lesquels j'ai établi le chiffre de 115 mètres pour le pin sylvestre, je suis persuadé que celui-ci peut marcher beaucoup plus vite. D'autres espèces, les peupliers et les saules, dont il a déjà été question, sont sensiblement plus favorisés au point de vue de la dispersion. Enfin il ne faut pas oublier que certaines circonstances, en dehors même de l'action de l'homme, peuvent porter des graines à de grandes distances, telle est, par exemple, l'action des eaux courantes. Il est à peine besoin de rappeler à ce sujet des observations faites au bord de tous les grands cours d'eau qui, descendant des Alpes dans la plaine, ont leurs bords couverts d'une végétation qui rappelle celle des régions supérieures. Tout ce que je veux retenir des faits que je viens de rapporter et des calculs qui en ont été la conséquence, c'est que le passage des grandes espèces ligneuses d'un bassin dans un autre, l'occupation complète d'un vaste territoire par elles, ont dû toujours demander beaucoup de temps et cela même n'est pas sans intérêt.

Comme je l'ai dit plus haut, si les plantes pourvues de moyens de dispersion rapide ont en apparence des chances plus grandes pour occuper immédiatement les nouveaux sols forestiers, aussi complètement que les anciens, il s'en faut de beaucoup qu'il en soit toujours ainsi. On a déjà vu que les fougères, malgré l'extrême légèreté de leurs spores, ne pénètrent que fort tardivement dans les plantations,

1. On a admis que la fécondité commence, pour le hêtre, à 40 ans, le châtaignier à 25 ans, le sorbier des oiseleurs à 10 ans et le pin sylvestre à 20 ans.

d'autres exemples sont encore plus probants[1]. Tandis que 4 espèces herbacées à fruits couronnés d'aigrettes se rencontrent partout, *Solidago virgaurea L., Senecio Jacobæa L., Hieracium umbellatum L., H. murorum L.*, vingt-sept espèces, dont les graines ou les fruits sont dans le même cas, ne se voient que dans les bois anciens ; ce sont : *Epilobium tetragonum L., E. parviflorum Schreb., Gnaphalium sylvaticum L., G. luteo-album L., G. uliginosum L., Filago gallica L., F. spathulata Presl., F. germanica Willd., Erigeron acris L., E. canadensis L., +Senecio vulgaris L., S. sylvaticus L., Inula coniza (L.) D. C., Tussilago farfara L., +Cirsium arvense (L.) Lam., C. eriophorum (L.) Scop., C. lanceolatum (L.) Scop., C. palustre (L.) Scop., Carduus nutans L., Lappa minor (L.) D. C., Taraxacum officinale (L.) Wigg., +Sonchus asper Willd., Crepis virens D. C., C. setosa Hall., Hypochœris radicata L., Thrincia hirta (L.) Roth.*

Trois espèces marquées d'une + sont des plantes adventives des cultures, fort abondantes d'ailleurs dans les jeunes taillis, où se trouvent surtout la plupart des espèces qui viennent d'être énumérées. Ce n'est pas le seul exemple d'apparition, dans de semblables conditions, de ces plantes que l'homme cultive involontairement. Presque toutes ont été rencontrées, après exploitation, dans les cantons anciennement boisés, tandis qu'elles font défaut dans les jeunes taillis des cantons provenant de plantations, ou ne s'y rencontrent que sur les places à charbon. Un phénomène de même ordre est fourni par le bouleau, dont les jeunes sujets se rencontrent en abondance dans les coupes récemment exploitées des bois anciens, quoique les individus adultes y fassent presque complètement défaut ; tandis qu'ils sont fort rares dans les plantations où le bouleau a été l'espèce dominante et reste encore le plus souvent assez abondante dans le peuplement forestier.

Tous ces faits, quelques autres aussi sur lesquels on reviendra à

1. Les plantes cellulaires offrent des phénomènes de même ordre. Pour me borner à quelques exemples, je puis citer parmi les mousses, les *Polytrichum formosum Hedw., Atrichum undulatum Pal. B., Dicranum scoparium Hedw., Mnium undulatum Hedw.*; parmi les champignons, le *Cantharellus cibarius Fries.*, qui ne se rencontrent à peu près pas dans les jeunes bois, tandis qu'ils abondent dans les anciens.

propos de la question des sols, prouvent que la dispersion plus ou moins facile des espèces ne suffit pas pour expliquer la dissemblance considérable que présente le tapis végétal, étudié dans les plantations ou dans les anciens bois. Je ne crois pas qu'il soit possible, dans l'état actuel de nos connaissances, de le faire pour chaque espèce, mais on peut affirmer que les plantes observées dans les anciens bois, pénètrent difficilement dans les jeunes, parce que le sol n'est pas complètement semblable de part et d'autre, parce que, de plus, elles le trouvent occupé par des espèces vigoureuses, éminemment sociales, contre lesquelles il leur est difficile de lutter.

La question des sols, celle de leur influence sur la distribution des espèces seront l'objèt d'un chapitre spécial. Qu'il suffise de dire ici que la terre dans les cantons anciennement boisés est plus riche en matières inorganiques assimilables, qu'elle renferme plus de terreau, qu'elle est plus meuble et plus fraîche, toutes conditions favorables à un grand nombre d'espèces, et qui rendent plus facile la germination des graines ; de là cette abondance des jeunes sujets de bouleau dont les fruits arrivent au moins en nombre égal sur le sol des jeunes bois ; cette réapparition fréquente des mauvaises herbes de nos cultures dont les graines sont aussi apportées accidentellement au moment des exploitations aussi bien dans les jeunes que dans les vieux bois.

Les jeunes sujets qui proviennent de ces germinations trouvent un autre avantage dans les vieux bois ; c'est, malgré le nombre plus grand des espèces, une concurrence infiniment moindre. J'ai déjà fait ressortir ce fait important, que dans les anciens bois on rencontre des espèces annuelles ou bisannuelles en quantité beaucoup plus considérable que dans les bois de nouvelle création. Or, en admettant même la conservation des graines de ces plantes dans le sol d'une exploitation à l'autre, ce qui me semble incontestable pour un très grand nombre d'entre elles[1], il est clair que les très

1. Sans entrer dans l'examen de cette question sur laquelle j'aurais quelques observations concluantes à ajouter à celles d'autres botanistes, qu'il me suffise, m'en tenant aux espèces qui nous occupent, de signaler l'abondance parfois extrême des divers *Verbascum* dans les jeunes coupes du bois de Champfêtu, alors qu'ils disparaissent complètement quand le massif s'est reformé.

jeunes sujets, après germination, ne sauraient se faire une concurrence aussi active, au moins à l'origine, que celles qu'ils éprouvent de la part des espèces vivaces, souvent éminemment sociales, qu'on rencontre presque exclusivement dans les plantations. Celles-ci, en général, très robustes, forment des tapis continus ou presque continus qui résistent très bien au couvert de la forêt, d'abord fort léger puisqu'il est produit en majeure partie par des bouleaux. Ce n'est qu'à la longue, lorsque les chênes et surtout les charmes ou les hêtres deviennent plus communs, qu'elles voient leur vigueur réduite, que beaucoup de pieds ayant disparu ou au moins étant devenus très chétifs, les autres espèces ont des chances favorables pour s'implanter [1]. On peut remarquer d'ailleurs que les conditions de la vie sont beaucoup plus diversifiées dans les anciens bois que dans les nouveaux, et cela rien que par le seul fait de la constitution différente des peuplements forestiers.

Le résultat premier de la plantation est un taillis simple formé d'une ou deux espèces à couvert très léger. Ce n'est qu'à la longue qu'on voit le nombre des espèces augmenter, et surtout des arbres de divers âges surmonter le taillis, diminuer la vigueur de celui-ci, ou même le faire périr, relevant ainsi le couvert, tout en le rendant quelquefois plus épais. Comme, en même temps, le sol se modifie et cela forcément d'une façon un peu inégale, suivant la nature et l'abondance des débris organiques qu'il reçoit, on conçoit facilement que des espèces herbacées plus nombreuses trouveront des conditions favorables, soit pendant la croissance des massifs, soit immédiatement après leur exploitation, car il est bon de faire remarquer qu'un grand nombre des plantes, signalées comme propres aux anciens bois, s'y rencontrent seulement dans les jeunes taillis.

Tout ce qui vient d'être dit trouve sa confirmation dans ce fait qu'on observe toujours sur les places à charbon des bois provenant de plantation, de jeunes plants de bouleau ou de saule marceau,

1. Ici encore les végétaux cellulaires se comportent comme les plantes vasculaires. Pour ne parler que des mousses, le *Hylocomium triquetrum*, par son abondance dans les bois de nouvelle création, fait certainement obstacle à l'établissement d'autres espèces, en même temps qu'il est certainement favorisé par un couvert et un sol moins convenables pour celles-ci.

quelquefois aussi des mauvaises herbes de nos cultures, ou des plantes des vieux bois qui y restent confinées sans se répandre dans le taillis environnant. Qu'est-ce qui leur a permis de s'établir? Un sol très meuble, formé en partie de débris de charbon, et l'absence de toute concurrence.

Il ne serait pas difficile de citer à l'appui du rôle que je fais jouer à la concurrence d'une ou de quelques espèces sociales et robustes, pour empêcher d'autres espèces de venir diversifier le tapis végétal, d'autres faits complètement analogues à ceux qui viennent d'être exposés. Qu'il suffise d'un seul, parce que, observé dans une région botanique très distincte, il montre des végétaux d'espèces fort différentes de celles que nous venons d'étudier, se comporter exactement comme elles.

Quand en Corse, après avoir défriché le sol d'un maquis et l'avoir soumis à la culture, on l'abandonne ensuite à lui-même, on le voit d'abord se couvrir de végétaux herbacés parmi lesquels : *Papaver hybridum L., Helianthemum guttatum Mill., Trifolium agrarium L., Galactitis tomentosa Mœnch., Jasione montana L., Linaria pelisseriana (L.) D. C., Anthoxanthum Puelii Lec. et Lam., Briza maxima L., B. minor L., Aira cupaniana Guss.* Puis, au bout de deux ans, le *Cistus Monspeliensis L.* se substitue à cette végétation herbacée, formant des fourrés qui excluent tout le reste de la végétation habituelle du maquis. C'est seulement peu à peu que celle-ci se reconstitue, le *Daphne gnidium L.* apparaissant d'abord, suivi successivement par les autres espèces jusqu'à ce que le *C. Monspeliensis* ait repris dans la population du maquis la place limitée qui lui appartient. On voit que nous retrouvons ici l'envahissement rapide du sol par une plante sociale vigoureuse faisant obstacle à l'extension d'autres espèces.

Il n'a été question jusqu'ici que des terrains boisés ; il reste, pour être complet, à voir comment se comporte la végétation dans les vides et dans les mares.

Ces dernières, d'étendue fort médiocre, méritent une simple mention. Les unes paraissent être d'origine fort ancienne, les autres sont plus récentes ; celles-ci ont été creusées, il y a cinquante à trente ans, par les extractions de terre nécessaires à une tuilerie. Elles

ont une population végétale fort pauvre, tandis que les plus anciennes sont au contraire des plus riches. Toutes sont sans aucune connexion avec les eaux courantes ou stagnantes de la contrée, elles n'ont donc pu recevoir les végétaux qu'on y rencontre aujourd'hui que par l'action du vent et par celle des oiseaux aquatiques. La première, qui a pu s'exercer pour des graines légères, très mobiles comme celles du *Salix cinerea,* a été en général nulle à raison des distances à parcourir et de l'obstacle formé par les bois. L'action des oiseaux d'eau est très irrégulière dans le cas qui nous occupe, puisque leurs visites sont fort rares, mais elle me semble incontestable. Non seulement on ne peut guère expliquer l'arrivée des espèces aquatiques sans leur action, mais encore les mares les plus riches sont, en même temps que les plus anciennes, celles qui reçoivent le plus souvent la visite des canards sauvages. Comme je n'ai d'ailleurs aucune observation personnelle à ajouter à celles des autres naturalistes, de Darwin notamment, je n'insiste pas davantage sur ce sujet et je passe aux vides.

Ici nous nous trouvons en présence de deux phénomènes également intéressants. D'une part, les espèces végétales se répandent avec une extrême rapidité dans un même vide et elles sont en général les mêmes partout; d'autre part, quelques espèces sont cantonnées dans certains d'entre eux et n'en sortent que très difficilement. La rapidité avec laquelle le tapis végétal se constitue n'a rien de surprenant; tout se réunit pour la produire: d'un côté, la plupart des espèces comptent au nombre de celles qui abondent sur les terrains vagues de la région; on les trouve donc sur les chemins, les berges des fossés de clôture, prêtes à envahir les sols abandonnés par la culture; d'autre part, il ne paraît pas que la terre végétale ait à se modifier pour les recevoir. L'espace est libre devant elles; elles ne rencontreront que plus tard la concurrence de la forêt, et celle-là leur sera fatale. Enfin, le vent, en roulant sans aucun obstacle les fruits et même des rameaux ou la totalité des organes aériens de la plante, après que celle-ci a fleuri et fructifié, favorise singulièrement l'ensemencement. C'est certainement pour ces raisons que des végétaux appartenant à des familles dont certaines espèces pénètrent très difficilement dans les plantations, se

répandent avec une très grande rapidité dans un vide même étendu; tel est, par exemple, le *Thalictrum minus*.

Cette même plante prouve la grande difficulté que présente au contraire le passage d'un vide à un autre pour les espèces qui ont été primitivement cantonnées. Très commune, depuis plusieurs années, dans le grand vide des Terres-Blanches, elle n'en est pas encore sortie depuis 1846, époque probable de son introduction. Toutes n'offrent pas la même résistance; j'ai vu l'*Ononis natrix* sortir peu à peu de ses deux stations primitives, sans arriver pourtant, il s'en faut encore de beaucoup, à occuper toutes les surfaces sur lesquelles on pourrait la rencontrer. D'autres espèces, sans qu'on ait pu constater leur marche, comme pour la précédente, se trouvent aussi dans deux ou plusieurs vides; tel est, par exemple, le *Teucrium montanum*, qui a été rencontré dans trois d'entre eux.

Si maintenant nous comparons la végétation du bois de Champfêtu à celle des forêts environnantes, nous constatons qu'en général il existe entre elles la plus grande similitude, toutes circonstances égales d'ailleurs, quant au sol et au degré d'ancienneté du bois. Cependant il est des espèces qui n'ont pas encore pénétré dans le premier; certaines d'entre elles paraissent être arrêtées par ces légères différences de climat qui, imperceptibles pour nos organes, difficilement saisissables même avec des instruments précis, exercent cependant une action prépondérante sur la distribution des animaux et des végétations. C'est ainsi que le grand vallon qui part d'Arces pour aboutir dans la vallée de la Vanne forme un obstacle infranchissable pour certaines plantes, l'*Erica cinerea* par exemple, qui pour le pays y trouvent leur limite occidentale[1]; mais à côté de ces espèces, il en est d'autres dont il est difficile de s'expliquer la non-arrivée dans le bois de Champfêtu. Les *Serratula tinctoria, Molinia cœrulea* par exemple, et surtout le *Pteris aquilina*, très commun dans les environs, dont les spores sont si facilement transportables et qui trouverait largement développés les sols qui lui sont favorables.

---

1. L'*Erica cinerea* ne se trouve plus à l'est que dans la plaine de Foolz (Aube), où elle est à peine représentée.

Quelques espèces cependant, assez mal douées comme moyen de transport, ont pu arriver dans le bois à des dates récentes, quelquefois sans qu'il soit très facile de se rendre compte de leur mode de transport. C'est le cas pour le *Convallaria maialis,* par exemple, dont les fruits paraissent être peu recherchés des oiseaux ; d'autres fois, au contraire, l'agent de transport se montre bien manifestement, et le plus souvent c'est l'homme. C'est ainsi que trois ombellifères, très communes dans les marais de la Vanne, *Peucedanum Carvifolia, Silaus pratensis, Angelica sylvestris,* se rencontrent parfois au bord des chemins ; leurs graines y ont été évidemment apportées par les voitures, qui servent tantôt au transport des foins de la vallée, tantôt à celui des bois de la forêt ; attachées aux roues avec le limon ou la tourbe du marais, elles se sèment sur les chemins établis, en sol naturel, dans le bois.

L'homme ne concourt pas seul à l'enrichissement de la flore ; pour quelques espèces l'action du vent ou des animaux est évidente, et quelquefois elle a dû s'exercer à de grandes distances ; c'est le cas, par exemple, pour le *Pyrola grandiflora,* que j'ai rencontré dans un des cantons provenant de plantation, qui ne fait pas partie, par conséquent, de la flore des cantons anciens de la forêt et qui, d'autre part, est une plante rare dans la région. Un des exemples les plus curieux de transport par les animaux est donné par une plante du même groupe géographique que l'*Erica cinerea ;* c'est le *Peucedanum Gallicum ;* je l'ai rencontré une seule fois dans le bois de Champfêtu, dans un petit ravin paraissant d'origine assez récente, celui des Seize-Arpents. Au premier abord, sa présence est assez étrange ; elle me semble cependant facile à expliquer : à l'endroit même où la plante se rencontre, l'eau séjourne une partie de l'hiver, le sol reste dans tous les cas fangeux pendant cette saison ; aussi les sangliers, rarement sédentaires dans le bois de Champfêtu, mais qui y viennent souvent de la forêt située à l'ouest de la vallée dont il a été question plus haut, fréquentent-ils beaucoup cette partie du ravin ; il est à peu près certain qu'ils ont été les agents de transport de l'ombellifère, dont les fruits auront adhéré aux poils de l'un de ces animaux.

III.

On a vu dans les généralités relatives à la contrée que les sols sont très variés dans le bois de Champfètu, que les uns sont à peu près dépourvus de calcaire, tandis que cet élément entre pour une part notable dans les autres; il permet par suite d'étudier l'influence qu'il exerce sur la distribution des espèces. Pour les grands végétaux ligneux, quelques erreurs de culture ont donné lieu à des observations intéressantes; c'est ainsi que le pin maritime et le châtaignier introduits sur les sols calcaires ne s'y sont pas maintenus, ou sont restés très chétifs, quand ils n'ont pas disparu complètement. Je n'insiste pas sur les observations qui les concernent, parce que je les ai exposées en détail dans deux mémoires publiés en collaboration avec M. Grandeau et consacrés à l'étude de l'influence chimique du sol sur ces deux espèces.

La végétation herbacée et arbustive présente des phénomènes de même ordre. C'est ainsi qu'on ne trouve pas un seul pied de bruyère commune (*Calluna vulgaris*) sur terre calcaire, tandis qu'elle abonde parfois, à quelques pas, sur les sables; c'est ainsi encore que le genêt à balais (*Sarothamnus vulgaris*), extrêmement commun et très vigoureux sur les sols dépourvus de chaux, s'avance jusqu'au bord des terrains calcaires, mais pour disparaître dès qu'on est franchement sur ceux-ci. A la différence de la bruyère, on le voit encore sur leur bord, mais sa taille diminue à mesure que l'influence de la base se fait de plus en plus sentir; en même temps, le feuillage et les jeunes rameaux deviennent jaunes; en un mot, cet arbuste présente tous les phénomènes décrits chez le châtaignier et le pin maritime dans les deux mémoires cités plus haut.

Les végétaux calcicoles ne sont pas d'ailleurs toujours aussi exclusifs que les espèces calcifuges; c'est ce qui a été déjà observé à maintes reprises. Si des espèces, telles que *Thalictrum minus, Ononis natrix, Hippocrepis comosa*, ne sortent pas des terrains calcaires, il en est d'autres qui, rencontrées généralement sur sols calcaires, se trouvent partout dans le bois de Champfètu, croissant avec une égale vigueur. C'est le cas du cytise faux-ébénier (*Cytisus*

laburnum) qui n'est pas spontané dans la contrée, mais qui, introduit par la culture, tant sur les sols pauvres en carbonate de chaux que sur ceux qui renferment ce sel en abondance, a réussi aussi bien sur les uns que sur les autres. Cette égalité dans le développement pourrait fort bien être la cause qui le maintiendrait sur les derniers et le ferait disparaître sur les premiers. Sa croissance lente, sa taille réduite, le mettent en effet en infériorité, sur les sols non calcaires, vis-à-vis d'espèces sociales de croissance rapide, comme le genêt à balais et surtout des espèces forestières qui se développent activement, tandis que sur les sols calcaires secs il a une concurrence beaucoup moindre à soutenir.

Le cytise faux-ébénier n'est pas la seule espèce qui se répande sur ces sols parce qu'elle n'a pas à les disputer à d'autres végétaux ; je puis en citer un autre exemple, fort curieux à beaucoup d'égards, ne fût-ce qu'à titre d'exemple des erreurs auxquelles peuvent conduire, en pareille matière, des observations imparfaites ou non discutées. Le pin sylvestre, sans être une espèce exclusive, montre cependant une prédilection marquée pour les sols pauvres en chaux; il a été introduit partout à Champfêtu et, suivant la règle habituelle, il est plus vigoureux sur ceux-ci, mais sans s'y régénérer pour ainsi dire, tandis que sur les sols calcaires les jeunes plants venus spontanément abondent ; il en est ainsi, c'est un fait bien connu, dans toute la Champagne crétacée, où les jeunes pins sylvestres forment souvent sous les porte-graines des fourrés très épais. Il semblerait dès lors que l'espèce est attirée et fixée par la chaux ; il n'en est rien : en y regardant de près, on voit quelques jeunes pins sylvestres sur les sols non calcaires, mais ils ne tardent pas à disparaître, dominés qu'ils sont par les autres espèces forestières spontanées dans la région, mieux organisées pour y vivre qu'un arbre introduit auquel le climat, sans être nuisible, n'est pas complètement favorable. Sur calcaires, il ne rencontre plus la même concurrence, au moins d'une façon aussi active ; il lutte avec avantage et reste maître du terrain sans arriver à de très belles dimensions.

J'ai dit plus haut que la flore des anciens bois présente, entre autres caractères distinctifs, celui d'être formée par un assez grand nombre de plantes rudérales qui manquent dans les jeunes bois. On

ne sait pas encore exactement pour quelles raisons ces espèces se trouvent fixées aux stations où on les rencontre le plus habituellement. On suppose toutefois qu'elles demandent aux sols beaucoup de matières azotées et de sels entrant dans la constitution des cendres. J'ai été par suite amené à étudier la composition des sols dans les deux groupes de bois. Une difficulté se présentait : il fallait, en effet, pour recueillir des échantillons comparables, trouver des cantons aussi semblables que possible au point de vue des éléments minéraux principaux du sol et de l'âge des peuplements. On a été amené ainsi, en ce qui concerne les bois de nouvelle création, à faire choix de parcelles que leur peu d'étendue, leur contiguïté à d'anciens bois, ont fait réunir à ceux-ci pour l'exploitation. Cette réunion a eu pour conséquence des opérations culturales qui, de bonne heure, ont favorisé les essences dures, aux dépens des bois blancs qui avaient servi à la plantation, qui par suite ont modifié le sol plus rapidement que dans le reste des jeunes bois. Cette action se traduit à la vue par la présence de quelques espèces herbacées déjà sorties des vieux bois voisins. On peut donc affirmer que les différences constatées dans la composition chimique des sols de jeunes bois et de ceux de vieux bois sont ici à leur minimum et qu'elles sont certainement plus accentuées dans la plupart des cas.

Voici les cantons et parcelles où ont été recueillis les échantillons de terre, les conditions dans lesquelles s'est faite la prise.

Buisson-Cartault. — Les deux parcelles, l'une de vieux bois, l'autre de jeunes bois, ont été exploitées ensemble pendant l'hiver de 1867-1868 ; elles sont assises l'une et l'autre sur le plateau en terrain à peu près horizontal, présentant une légère inclinaison vers le N.-E. ; la terre a été recueillie le 12 octobre 1883, en fouillant le sol de part et d'autre sur un décimètre de profondeur et sur 4 mètres carrés de surface. Dans la parcelle de plantation récente, le taillis est constitué par des chênes, des charmes, des bouleaux ; un jeune châtaignier se trouve à proximité de la place où le sol est fouillé ; la végétation arbustive présente les *Sarothamnus scoparius, Lonicera xylosteum* et *periclymenum, Ligustrum vulgare ;* la terre est couverte de mousses parmi lesquelles le *Hylocomium triquetrum,* très prédominant, et de quelques feuilles mortes ; on observe aussi

quelques plantes herbacées, *Fragaria vesca, Solidago virgaurea,* non fleuri, graminées nombreuses comme individus ; la terre renferme des cailloux siliceux assez nombreux.

Dans l'ancien bois, le taillis est constitué par du charme, du chêne et du bouleau ; la végétation arbustive est représentée par le *Lonicera xylosteum* et des ronces; la terre est couverte par des mousses en tapis peut-être moins continu, parmi lesquelles le *Polytricum formosum,* et des feuilles mortes plus abondantes que dans la parcelle voisine ; les plantes herbacées sont les *Viola sylvatica, Galeobdolon luteum, Ajuga reptans, Potentilla fragariastrum,* graminées moins nombreuses ; cailloux moins nombreux ; mycélium beaucoup plus abondant ; la terre se travaille plus facilement, elle est très douce.

Garenne-de-Theil. — Les deux parcelles, l'une de bois anciens, l'autre de jeunes plantations, ont été exploitées ensemble dans l'hiver de 1874-1875 ; elles sont assises l'une et l'autre, en ce qui concerne les points considérés, en sol horizontal avec inclinaison presque insensible au nord. La terre a été recueillie le 12 juillet 1884, par un temps beau et chaud ; le 9, il y a eu de l'orage, et de la pluie le 10. Dans la plantation, le taillis est constitué par des ormes et des chênes prédominants, des bouleaux, des trembles et des charmes, ces derniers rares ; le sous-bois, peu abondant, est représenté par des troènes et des ronces ; le sol est couvert de mousses, principalement de *Hylocomium triquetrum,* au milieu desquelles on voit des graminées appartenant probablement au genre *Agrostis,* les plus communes parmi les plantes herbacées phanérogames, les *Fragaria vesca, Vicia sepium.* La terre fouillée est grise avec silex sans excès. L'échantillon de terre de l'ancien bois a été pris à 40 ou 50 mètres de celui-ci ; la forêt est constituée par des chênes et des charmes, les arbustes sont des ronces et des *Hedera helix, Cratægus monogyna.* Le sol est couvert de mousses, *Hylocomium triquetrum* et *Mnium undulatum,* au milieu desquelles on voit diverses graminées, parmi lesquelles *Milium effusum, Asperula odorata, Viola sylvatica, Potentilla fragariastrum, Primula officinalis;* la terre fouillée est à peu près de même couleur que dans la parcelle voisine ; un peu de mycélium par places.

Au Buisson-Cartault et à la Garenne, les gros silex ont été cubés au moment de la prise de la terre recueillie. Cette dernière, soumise à l'analyse après dessiccation à l'air, a donné les résultats suivants :

Buisson-Cartault (ancien bois).

Analyse mécanique.

Terre fine, tamis n° 1	74	p. 100
— — n° 2	16	—
— — n° 3	7	—
Cailloux	3	—

Analyse chimique.

Résidu insoluble	90.500	p. 100
Matière organique	4.500	—
Acide phosphorique total	0.041	—
Chaux	traces.	
Magnésie avec manganèse	traces.	
Potasse	0.043	—
Azote total	0.119	—

Buisson-Cartault (plantation).

Analyse mécanique.

Terre fine, tamis n° 1	84	p. 100
— — n° 2	7	—
— — n° 3	2	—
Cailloux	7	—

Analyse chimique.

Résidu insoluble	90.500	p. 100
Matière organique	3.900	—
Acide phosphorique total	0.044	—
Chaux	traces.	
Magnésie avec manganèse	traces.	
Potasse	traces.	
Azote total	0.112	—

Garenne (ancien bois).

Analyse chimique.

Perte en poids à 100°	2.12	p. 100
Perte entre 100° et le rouge	7.04	—
Résidu insoluble	85.50	—
Acide phosphorique total	0.086	—
Chaux	0.180	—
Magnésie avec oxyde de manganèse	traces.	
Potasse	0.140	—
Azote total	0.184	—

Garenne (plantation).

Analyse chimique.

Perte de poids à 100°	1.81	p. 100
Perte entre 100° et le rouge	6.51	—
Résidu insoluble	89.50	—
Acide phosphorique total	0.074	—
Chaux	0.125	—
Magnésie avec oxyde de manganèse	traces.	
Potasse	0.066	—
Azote total	0.121	—

Le résidu est du sable blanc très pur pour les terres des deux provenances [1].

Les analyses dont les résultats viennent d'être donnés, conduisent à quelques conclusions intéressantes qui élucident en partie la question dont je poursuis l'examen.

On voit en effet que, sauf une légère exception en ce qui concerne l'acide phosphorique pour le Buisson-Cartault, la terre végétale est invariablement plus riche en principes minéraux assimilables et en azote dans les anciens bois que dans les nouveaux ; c'est certainement en partie pour ce motif que les plantes rudérales sont abondantes dans les premiers, tandis qu'elles font défaut dans les seconds. Toutefois, il ne me semble pas que les différences constatées pour les cantons dont il vient d'être question, différences parfois bien légères et dépassant à peine les limites de l'erreur possible dans les analyses, suffisent à expliquer les dissemblances profondes constatées entre les végétations qui s'observent dans les deux groupes de bois. Je serais porté à attacher une plus grande importance aux différences sensibles que présentent les sols de part et d'autre, quant à la teneur en terreau. A la Garenne comme au Buisson-Cartault, la terre des bois anciens en renferme notablement plus que celle des nouveaux et il ne faut pas oublier les conditions très spéciales dans lesquelles se trouvent les jeunes bois par suite du traitement forestier qui leur a été imposé ; elles ont atténué les différences. Or, on sait quelle est l'influence du terreau sur les sols, comment il favorise, quand il renferme beaucoup de matière noire soluble dans l'ammoniaque,

1. Ces analyses ont été exécutées, au laboratoire de chimie de l'École forestière, par M. L. Grenier.

la nutrition minérale des végétaux, comment il modifie aussi leurs propriétés physiques, notamment en ce qui concerne leur faculté d'échauffement et surtout leur hygroscopicité. Celle qu'il possède étant très considérable est particulièrement importante quand la masse de la terre est formée de sable, matière si peu hygroscopique ; à ce point de vue, il n'est certes pas indifférent que le sol végétal renferme 13.35 p. 100 de plus de terre, comme au Buisson-Cartault, ou même seulement 10.52 p. 100, comme à la Garenne. Cette hygroscopicité plus grande explique en particulier comment la germination des graines très petites, telles que celles des bouleaux, des épilobes, est plus facile dans les anciens bois que dans les nouveaux. Toutefois, ici encore on ne voit pas une raison suffisante pour rendre compte de tous les phénomènes de distribution observés, puisque d'une part les différences constatées dans la teneur en terreau, tout en étant notables, ne sont pas très considérables, puisque, d'un autre côté, il peut se faire que dans un canton la terre végétale de l'ancien bois ne renferme pas plus de terreau que celle du jeune dans un autre, alors que la composition du résidu minéral insoluble est à peu près la même de part et d'autre. Il me semble que la solution complète du problème est fournie par l'étude de ce que l'on pourrait appeler la structure de la terre végétale, sur laquelle M. P. E. Müller, de Copenhague[1], a si justement appelé l'attention des physiologistes et des forestiers. On a vu plus haut que l'aspect de la terre, sa constitution physique, surtout au point de vue de la ténacité, sont différents dans les anciens bois de ce qu'ils sont dans les nouveaux, que dans les premiers on trouve aussi un mycélium beaucoup plus abondant que dans les seconds. Des constatations aussi sommaires ne pouvaient suffire alors qu'on devait chercher de ce côté une explication que la composition chimique du sol ne fournissait pas complétement. J'ai donc soumis à de nouvelles investigations la terre végétale, dans les bois des deux catégories ; voici le résultat de mes recherches.

---

1. P. E. Müller, *Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden.* Berlin, 1887. Cet ouvrage est la seconde édition en allemand de mémoires publiés en danois, à partir de 1879, dans le *Journal forestier de Danemark.*

Le 8 octobre 1887, après une longue période de sécheresse, dans le canton des Terres, dont le taillis achève la deuxième pousse et qui présente deux parcelles d'anciens bois au milieu d'un peuplement nouveau, le sol des premières ne résiste pas généralement à la pression exercée très modérément par une canne qui s'enfonce d'au moins un décimètre, tandis que celui du second ne se laisse pas pénétrer. On remarque d'ailleurs des traces évidentes et nombreuses de lombrics dans les vieux bois, tandis qu'elles sont rares dans la plantation. Les galeries creusées par les mulots sont aussi beaucoup plus abondantes dans les premiers que dans la seconde. Le même jour, l'examen du sol dans le canton voisin des Quatre-Arpents, dont le taillis achève sa 16e pousse et qui renferme également des bois anciens à côté d'une plantation, donne lieu aux mêmes constatations.

Le 12 octobre 1887, après deux jours de pluie, à la Garenne, le sol est beaucoup plus meuble dans l'ancien bois que dans la plantation : la différence de mobilité est telle, qu'elle se sent en marchant ; la terre fléchit dans un cas, tandis qu'elle résiste bien dans l'autre. On ne remarque pas beaucoup de traces de vers, mais les taupinières, très nombreuses dans l'ancien bois, font complètement défaut dans le nouveau.

Le même jour, l'examen du sol du canton de la Grande-Remise qui a été planté au milieu du XVIIIe siècle montre qu'il se rapproche plus, sous le rapport de la mobilité, des jeunes plantations que des anciens bois ; les taupinières y sont rares.

Le même jour, l'étude du canton ancien de Champfêtu confirme complètement ce qui a été observé ailleurs.

Le 14 octobre, je recueille au canton des Quatre-Arpents deux échantillons de terre pour les soumettre à l'examen microscopique ; le temps est très humide, la pluie tombe fréquemment et fortement tous les jours depuis le 10 inclus. Dans l'ancien bois, la prise de terre est faite dans un endroit où le peuplement forestier est constitué par des chênes, trembles, merisiers, érables champêtres, noisetiers, aubépines ; un peu de lierre à la surface du sol ; celui-ci, au point précis où la prise a été faite, est couvert de feuilles mortes qu'on écarte ; il n'y a pas d'autre végétal herbacé qu'une touffe de

Mnium undulatum ; la terre, fouillée jusqu'à dix centimètres de profondeur environ, est très meuble et d'un gris foncé.

Dans la plantation, le peuplement est constitué par des chênes, bouleaux, saules marceaux, noisetiers, sanguins, épines noires ; la surface du sol est couverte par un tapis continu d'*Hylocomium triquetrum* avec feuilles sèches ; en dessous, la terre, fouillée sur un décimètre de profondeur, est grise aussi quoique un peu plus claire que la précédente ; elle renferme un plus grand nombre de petites racines, elle est meuble, mais elle forme une pâte liante très solide quand on la malaxe entre les doigts, à la différence de ce qui s'observe pour la terre de l'ancien bois.

Le 19 octobre suivant, les deux échantillons de terre ont été conservés frais dans une boîte de fer-blanc hermétiquement fermée ; examinés à la loupe, celui de l'ancien bois a une coloration légèrement plus foncée, comme il vient d'être dit, mais surtout plus uniforme ; on n'y observe point des taches jaunâtres caractéristiques chez celui de la plantation ; il est en outre plus homogène dans sa constitution, les grains de sable grossier y sont moins nombreux ; soumise à l'examen microscopique, la terre de l'ancien bois montre un terreau plus abondant, plus régulièrement distribué, enfin totalement dépourvu de débris organiques ayant conservé leur structure, tandis que dans la terre de la plantation, ceux-ci sont encore parfois dans un état tel qu'il est possible de déterminer les organes et les végétaux dont ils proviennent.

On voit que le résultat des observations que je viens de rapporter est des plus nets, complètement d'accord avec celles de Darwin et de M. Müller. Ici encore nous voyons le rôle considérable joué par les lombrics dans la bonne constitution de la terre végétale. J'ajoute que les mammifères fouisseurs, les mulots et les taupes en première ligne, jouent également une action importante qui n'a peut-être pas été suffisamment mise en lumière en ce qui concerne les forêts. En résumé, ce n'est pas seulement le couvert et la présence de la couverture qui amène, comme on l'a cru pendant longtemps, l'état meuble si remarquable du sol forestier, tous les animaux fouisseurs qui habitent en si grand nombre la forêt lui procurent une culture à la fois profonde et très complète ; le mode d'alimentation des lombrics,

leur donne à cet égard une importance toute particulière ; mais, et c'est ici, semble-t-il, que mes recherches ajoutent surtout à ce qu'ont appris les observateurs dont je viens de rappeler les services, si tous ces animaux exercent une action considérable dans les forêts anciennes, celle-ci semble être à peu près nulle à l'origine d'une plantation et ne s'établit que fort lentement. Il n'est pas très difficile d'ailleurs de saisir les raisons de ce fait. Immédiatement après la cessation de la culture agricole, la terre se couvre d'espèces sociales qui créent un milieu bien différent de celui des champs ou des prairies et de celui des forêts normales ; le couvert et la couverture restent longtemps fort imparfaitement constitués. Sans insister plus longtemps sur les causes qui éloignent les animaux qui plus tard abondent dans la forêt, l'état meuble du sol, sa grande homogénéité dans les anciens bois favorisent la germination de toutes les graines même les plus légères, il y a là une condition éminemment favorable pour la diversification du tapis végétal ; jointe aux différences qui ont été signalées dans la composition chimique de cette même terre, à la lutte moindre, comme on l'a vu, contre les espèces sociales, elle donne la solution complète du problème qui vient d'être examiné. En résumé, le tapis végétal des anciens bois renferme un nombre de formes beaucoup plus considérable que celui des jeunes, parce que les espèces ont eu un temps plus long pour l'installer, parce qu'elles n'ont plus à lutter aussi énergiquement contre quelques espèces sociales, parce qu'enfin le sol est plus riche en matières assimilables et en terreau, parce que surtout il est plus frais et beaucoup plus meuble.

IV.

Je viens de rappeler le rôle que la lutte des espèces entre elles joue dans leur répartition sur le sol de la forêt ; le sujet est assez intéressant, aussi bien en lui-même qu'à raison des conséquences pratiques qu'on en peut tirer, pour qu'il soit étudié avec quelques détails.

Un premier fait à constater, c'est qu'à de rares exceptions près, les espèces qui ne croissent pas spontanément dans la région, ne

s'installent pas sans une intervention énergique de l'homme et qu'elles sont immédiatement éliminées dès que celle-ci cesse de se faire sentir. J'ai déjà fait remarquer qu'immédiatement après la plantation du bois, non seulement toutes les espèces que nous cultivons volontairement, les céréales par exemple, mais toutes celles qui profitent sans notre action directe et souvent malgré nous de nos travaux, les coquelicots, les bleuets, les nielles par exemple, disparaissent complètement. Si on les rencontre plus tard dans les bois, c'est à l'état de plantes essentiellement adventives, parce que leurs graines, apportées accidentellement par nous, trouvent parfois dans les jeunes taillis un sol très meuble, cultivé même par les voitures et autres procédés de transport des bois, sur lequel elles sont délivrées de la concurrence des espèces indigènes; mais celle-ci ne tarde pas à se manifester et la plante étrangère est de nouveau chassée. Le fait est d'autant plus remarquable en ce qui concerne les céréales et beaucoup des *mauvaises herbes* qui les accompagnent dans nos cultures, que les unes et les autres mûrissent parfaitement leurs graines dans notre pays, où elles ont produit des générations extrêmement nombreuses; 2500 à 3000 au moins, d'après les évaluations les plus modérées.

Les végétaux ligneux se comportent sous ce rapport exactement comme les plantes herbacées. Ainsi le noyer est fréquemment planté dans les champs qui avoisinent le bois de Champfêtu ; il y atteint de très grandes dimensions et ses fruits mûrissent parfaitement, comme c'est le cas dans toutes les stations semblables au point de vue du climat; apportées dans les bois par les oiseaux, les noix donnent très fréquemment naissance à des jeunes plants très vigoureux, mais ceux-ci ne peuvent supporter la lutte contre les espèces indigènes sans un secours très énergique de l'homme ; si on ne les protège incessamment, en enlevant les sujets environnants appartenant à d'autres espèces ligneuses, ils ne tardent pas à disparaître.

Plusieurs espèces angiospermes ont été introduites dans les travaux de plantation; elles ont toutes disparu ou sont à peine et misérablement représentées, à l'exception du robinier et du châtaignier. C'est ainsi qu'on ne voit plus qu'un seul pied de vernis du Japon (*Ailanthus glandulosa*), alors qu'il avait été planté assez abondam-

ment, à l'époque où il a été préconisé pour la première fois comme une essence forestière que l'on pourrait employer avantageusement pour le reboisement. Le châtaignier, considéré généralement comme spontané en France, me paraît être un arbre anciennement naturalisé; il croît et se reproduit abondamment de graine dans le bois de Champfêtu, mais il n'existait pas dans les anciens bois, et il y pénètre peu et très difficilement, ce qui fournit un argument en faveur de l'opinion que je viens d'émettre, au moins en ce qui concerne la basse Bourgogne.

Le robinier est commun, bien installé, et il se reproduit abondamment par drageons; mais un fait remarquable, c'est l'absence, qui me paraît totale, de jeunes plants venus de semences, quoique celles-ci, mises en terre dans un jardin, germent parfaitement et donnent des sujets très vigoureux; pour cette espèce même, qui croît si facilement en France en donnant un bois ayant toutes les qualités de son pays d'origine, il n'y aurait donc pas naturalisation absolument complète, en ce sens qu'elle ne pourrait se répandre sans le secours de l'homme. J'ajoute qu'à la voir dans les cantons où elle est bien établie, il ne semble pas qu'elle soit destinée à résister indéfiniment à l'envahissement des arbres indigènes.

Les conifères semblent s'adapter mieux à des conditions différentes de celles qu'ils rencontrent dans leur aire normale; ils croissent vigoureusement et les *Pinus sylvestris, P. laricio austriaca, P. pinaster, P. strobus, Picea excelsa*, se reproduisent par graines, les deux premiers abondamment. L'*Abies pectinata* n'a pas encore donné de strobiles; le *Larix europæa* en fournit abondamment, mais pas un jeune plant de cette espèce n'a encore été observé et il est fort douteux qu'il doive jamais s'en produire; même pour les espèces qui donnent de jeunes sujets, la lutte contre les espèces ligneuses indigènes est impossible; on l'a vu par ce que j'ai dit à propos du *P. sylvestris* et de sa prédilection apparente, dans le bois de Champfêtu, pour les calcaires les plus arides; tous les autres conifères énumérés offrent à l'observation des faits analogues; cela est vrai notamment du *P. pinaster* dont l'introduction remonte presque à l'époque des premières plantations du siècle, et qui donne en abondance des cônes renfermant des graines susceptibles de germer.

Si nous cherchons à nous rendre compte de la lutte des espèces indigènes entre elles, il y a lieu de distinguer ce qui se passe : 1° quand des espèces herbacées ou des sous-arbrisseaux se trouvent en concurrence avec la végétation ligneuse et surtout avec les arbres ; 2° quand ces derniers ont à lutter contre des arbrisseaux et des arbustes ; 3° quand la lutte s'établit entre végétaux ligneux de grande taille.

Le couvert de la forêt est excessivement nuisible à toutes les espèces de pleine lumière. Aussi, comme cela a été dit plus haut, les plantes herbacées des endroits vagues qui s'installent sur le sol dès que celui-ci cesse d'être cultivé, persistent dans les vides, mais disparaissent dès que la forêt est constituée ; parmi les espèces herbacées qui caractérisent la flore des forêts, il en est quelques-unes qui s'accommodent plus ou moins complètement du couvert, qui le recherchent même ; le plus grand nombre, cependant, croît et surtout se développe bien, dans les jeunes peuplements, dans ceux qui permettent, en de certains endroits au moins, l'arrivée abondante de la lumière sur le sol.

Les arbrisseaux et les arbustes se comportent sous ce rapport à peu près comme les plantes herbacées : dès que le couvert de la forêt s'établit, ils disparaissent ou deviennent très chétifs, c'est ce qu'on observe en particulier pour les genévriers, si communs dans les vides, pour les épines noires, qui abondent dans les peuplements peu serrés, et enfin pour les genêts et les joncs, qui souvent forment d'impénétrables fourrés dans les jeunes taillis. Cela montre combien sont vaines certaines craintes que les sylviculteurs ont parfois éprouvées à leur sujet ; dans la lutte qui s'établit entre les végétaux ligneux de petite taille et les arbres, j'ai toujours vu dans le bois de Champfêtu, comme ailleurs du reste, l'avantage rester très rapidement aux derniers. On verra même un peu plus loin que les arbrisseaux et les arbustes, bien loin d'être des ennemis de la forêt, aident à son installation quand elle n'est pas encore constituée.

Quant aux arbres, ils n'échappent pas à la loi commune ; il s'établit entre eux une concurrence qui amène la disparition totale ou partielle de certaines espèces. On a déjà vu que dans le bois de Champfêtu la forêt, telle que l'avaient faite les plantations, était constituée

par des bouleaux et des saules marceaux auxquels sont bientôt venus s'adjoindre des trembles en assez grande abondance, grâce aux graines légères de l'espèce, à la facilité avec laquelle celle-ci se multiplie par drageons. Sous le couvert léger de ces essences, des espèces plus longévives se sont installées, dont les graines étaient apportées surtout par les oiseaux. C'est ainsi que rapidement on a vu se former des peuplements de chênes, hêtres, charmes, qui se sont substitués à celui qui les avait abrités. La substitution a été très rapide, puisque le bouleau fait aujourd'hui à peu près complètement défaut dans les plantations remontant au milieu du siècle dernier, et qu'il ne joue plus qu'un rôle subordonné dans beaucoup de celles qui ont été exécutées au commencement de celui-ci. Les trois essences que je viens de citer ont aussi un couvert plus épais que celles qu'elles ont remplacées. On voit donc que la substitution obéit de tous points aux lois qui ont été constatées partout lorsqu'un peuplement forestiers se trouve, pour une raison ou pour une autre, constitué à un moment donné exclusivement par des essences qualifiées de blanches dans le langage de la pratique. Elle a été ici d'autant plus rapide et plus complète que, dans le pays qui nous occupe, le climat est déjà un peu chaud, à l'altitude faible du bois de Champfêtu, pour le bouleau, espèce septentrionale, tandis qu'il convient parfaitement aux chênes.

S'il y a substitution, dont les causes apparaissent très clairement, il n'y a rien de semblable, dans le bois de Champfêtu, à ce que sous le nom d'alternance des essences, on a voulu quelquefois comparer aux assolements de l'agriculture. Quand le sol a été occupé par les chênes, les charmes, les hêtres, ceux-ci restent en possession, et si, après une exploitation en taillis, on voit apparaître souvent en quantité énorme des jeunes bouleaux, ceux-ci ne tardent pas en général à disparaître ; ils persistent seulement dans les endroits rares où le couvert a disparu, où le sol est resté libre, parce que à la suite d'exploitation défectueuse ou pour quelque autre cause accidentelle, les essences constituant le peuplement ont disparu. Celles-ci ne tardent pas d'ailleurs à se montrer de nouveau, suivant les lois que je viens de rappeler.

On voit par ce que je viens de dire que, si les espèces luttent les

unes contre les autres, il peut arriver aussi, dans l'extrême complexité de leurs rapports, qu'elles se favorisent entre elles. Il peut même se faire qu'une plante dépende entièrement d'une autre; c'est ainsi que des espèces volubiles, telles que le *Lonicera periclymenum* et le *Tamus communis,* qu'on rencontre dans le bois de Champfêtu, ne peuvent vivre qu'à la condition d'avoir un végétal ligneux pour les supporter, qu'un parasite comme le gui doit en trouver un aussi pour s'y installer. Sans qu'une plante soit indispensable à une autre, elle peut lui être très utile, et nous trouvons un remarquable exemple de ce fait dans une espèce qui habite le bois de Champfêtu, le *Monotropa hypopitys*. Elle y était rare primitivement, alors que le bois ne renfermait guère que des arbres feuillus; aujourd'hui elle est devenue extrêmement commune sous les peuplements de conifères, non pas qu'elle s'implante sur leurs racines, comme on l'a cru, à tort, pendant longtemps, mais sans doute parce que le terreau formé par eux convient mieux à cette espèce saprophyte et non parasite que celui provenant des bois feuillus.

Cet appui, cette aide qu'une espèce peut donner à une autre, nous les retrouvons chez les arbres ; il en est qui, grâce à leur peu d'exigences au point de vue des propriétés physiques ou chimiques du sol, par le peu d'abri qu'ils réclament pendant leur jeunesse, peuvent facilement réussir là où d'autres essences plus exigeantes se refuseraient à croître ou se développeraient mal, si on cherchait à les introduire directement. Elles aident ensuite, par leur abri, à l'installation de ces dernières qui trouvent une terre améliorée par leurs prédécesseurs. Ce rôle, le bouleau le joue admirablement vis-à-vis des chênes, des charmes, des hêtres, des châtaigniers. Il me semble certain que ces choses se sont passées de la sorte dans le bois de Champfêtu. Sous les pins et les mélèzes on constate des faits absolument semblables.

Les arbustes et les arbrisseaux eux-mêmes, contrairement au préjugé qui a régné pendant longtemps et qui n'a pas encore complètement disparu, peuvent fournir un abri utile à certains arbres, et dans tous les cas n'en gênent nullement le développement; c'est ainsi que j'ai vu un magnifique taillis de chêne se substituer, en moins de quarante ans, à des fourrés d'épines noires; c'est ainsi encore que

dans les vides les jeunes chênes font défaut ou restent complètement rabougris, quand le sol est couvert seulement d'herbes, tandis qu'ils se rencontrent en grand nombre et se développent beaucoup plus activement au milieu des genévriers. Un canton planté il y a cent cinquante ans environ portait, à la fin du siècle dernier, le nom significatif de Remise des genièvres. Aujourd'hui, sans qu'on ait extirpé les genévriers, ceux-ci font presque complètement défaut, et un peuplement forestier médiocre, parce que le sol est très mauvais, mais bien complet, les a remplacés, sans que l'homme ait eu à intervenir par plantations ou semis.

V.

Arrivé au terme de cette longue étude, je crois utile d'en tirer les conclusions principales qu'elle comporte, soit au point de vue de la science pure, soit à celui de la pratique.

Les études de géographie ont montré depuis longtemps qu'en ce qui concerne les transports d'espèces à grande distance, le rôle des animaux est considérable, supérieur à celui des agents purement physiques, et qu'à l'époque actuelle celui de l'homme est absolument prépondérant, l'emportant de beaucoup en puissance sur celui des animaux les mieux doués pour concourir à la dispersion des espèces. Les faits que je viens d'exposer montrent que ces lois se vérifient même pour les transports à courte distance, pour l'occupation complète d'un terrain par une espèce végétale déterminée. Je laisse de côté pour le moment l'action de l'homme, sur laquelle je reviendrai quand j'exposerai les considérations pratiques auxquelles je suis arrivé. En ce qui concerne l'action comparée des animaux et des agents physiques, tels que le vent, le plus puissant de tous, au cas particulier qui nous occupe, on a vu que les espèces dont les fruits ou les graines sont recherchés par les oiseaux sont les plus envahissantes, qu'elles l'emportent même sur les espèces dont ces organes portent des ailes, des aigrettes qui sembleraient devoir favoriser à un haut degré leur transport par le vent. Les corps reproducteurs dont la dispersion semble le plus facile et se

fait parfois à de grandes distances sont ceux qui sont très petits, spores ou graines scrobiformes particulièrement. L'action du vent semble d'abord ici prépondérante; à un examen plus approfondi, on voit que, même dans ce cas, celle des animaux, des oiseaux tout spécialement, pourrait bien encore être au premier rang.

Un des résultats les plus nouveaux auxquels je sois arrivé, semble-t-il, c'est que dans le cas où la végétation spontanée est mise à même de s'emparer d'un sol nu, l'installation des diverses espèces se fait avec une rapidité très inégale. Tandis que certaines d'entre elles se répandent très vite, il en est d'autres qui marchent avec une extrême lenteur. Les plantes de petite taille, ligneuses et surtout herbacées, qui vivent à l'ombre de la forêt, sont des plus remarquables sous ce rapport. Non seulement le milieu spécial qu'elles réclament comporte la création de massifs forestiers, mais encore il faut que le sol se modifie profondément dans sa constitution chimique, dans ses propriétés physiques et surtout dans ce qu'on pourrait appeler sa structure. Ces modifications paraissent exiger un temps fort long, puisque, on l'a vu, des cantons boisés il y a plus d'un siècle et demi n'ont pas encore le sol et par suite le tapis végétal des cantons qui n'ont jamais cessé d'être boisés ou que la forêt a de nouveau couverts depuis un temps fort long.

On a vu que, dans la forêt, la lutte, ce qui est connu de tous les observateurs, est des plus vives, non seulement entre individus appartenant à la même espèce, mais encore entre essences différentes; la conséquence c'est qu'une espèce moins bien organisée qu'une autre pour vivre dans de certaines conditions, doit céder la place à celle-ci et que la substitution peut se faire très vite quand les deux espèces considérées habitent ensemble la forêt et quand il s'agit seulement d'un renversement dans l'importance numérique de chacune d'elles. Lorsque au contraire il s'agit d'une espèce nouvelle qui vient faire concurrence à d'autres déjà en possession du sol, il faut à son établissement définitif sur de grandes surfaces, même dans des conditions de dispersion des graines assez favorables, un temps fort long. Ce que j'ai dit à ce sujet des chênes, des hêtres, des sorbiers, le prouve surabondamment. Ce fait a quelque intérêt si l'on se reporte à la succession de végétations forestières que nous constatons,

sur ce qui est aujourd'hui le sol de l'Europe, pendant les temps tertiaires ou quaternaires.

Les faits observés montrent que la lutte des espèces en explique aussi bien souvent la distribution sur des sols de composition chimique différente, que parfois si une terre est très stérile et si elle n'est pas envahie par un grand nombre d'espèces, il peut se faire que l'une d'elles s'y installe à l'encontre même de ses préférences et uniquement parce que, pouvant à la rigueur s'en accommoder, elle ne se trouve pas en lutte avec des plantes demandant un sol plus fertile.

Pratiquement, nous voyons que l'acclimatation en matière forestière est chose impossible, que la naturalisation peut donner de bons résultats, mais qu'il est prudent de ne jamais la tenter en grand, sans avoir procédé auparavant à des expériences complètement probantes. On a vu, en effet, que beaucoup d'arbres et même d'arbustes étrangers à la région ont été introduits dans le bois de Champfêtu ; qu'un très petit nombre a persisté et qu'une seule espèce peut-être est complètement naturalisée, en ce sens qu'elle paraît susceptible de se régénérer indéfiniment par la semence ; c'est le châtaignier ; encore paraît-il s'implanter très difficilement dans les cantons peuplés de bois anciens, normalement constitués, par conséquent. D'autres espèces ont rendu et rendent des services, le robinier et le pin d'Autriche en première ligne, mais sans qu'on puisse affirmer qu'elles persisteraient indéfiniment sans l'intervention de l'homme.

Au reste, même quand on fait appel, pour boiser un terrain, à la végétation forestière spontanée dans la région, si on fait choix d'un seul arbre et si cet arbre ne constitue pas, dans les forêts environnantes, l'essence principale, il ne tarde pas à être dépossédé, en partie au moins, par d'autres espèces qui, s'introduisant d'abord en sous-étage, ne tardent pas à prendre le dessus et à donner au nouveau bois la même constitution qu'aux forêts anciennes du pays. C'est ce qui est arrivé au bois de Champfêtu qui, peuplé, au début de la plantation, presque exclusivement par des bouleaux, présente aujourd'hui de beaux taillis de chêne avec mélange de charme, de hêtre et de quelques essences accessoires. Il n'y a d'ailleurs, dans les faits que je viens de rappeler, rien qui vienne à l'appui de la théorie des assolements forestiers, puisque la forêt normalement constituée

reste indéfiniment peuplée des mêmes espèces tant que le traitement auquel elle est soumise ne change pas. Si le bouleau reste dans les vieux bois, c'est parce que, grâce à la légèreté de ses fruits et au tempérament robuste de son jeune plant, il peut garnir les places devenues vagues par suite d'abus de jouissance ou de mauvaise exploitation ; sa présence est essentiellement temporaire ; sous son couvert léger, les chênes, charmes, hêtres, ne tardent pas à réapparaître pour se substituer rapidement à lui.

On voit que le bouleau n'est pas, comme on l'a cru pendant longtemps, un ennemi du chêne ; on pourrait plutôt soutenir l'opinion contraire et dire que son couvert léger est favorable à cette essence pendant la jeunesse de celle-ci, qu'*à fortiori* il en est ainsi pour des espèces plus amies de l'ombre, telles que le hêtre. Le forestier doit seulement veiller à ce que le bouleau ne soit pas maintenu quand son action a cessé d'être utile et, il est bon de le dire, le plus souvent des raisons économiques, l'utilisation de produits ayant atteint leur maximum d'utilité, le porteront très naturellement à l'enlever à ce moment.

Ce n'est pas seulement contre le bouleau qu'on a vu les espèces longévives et de grande taille lutter avantageusement dans le bois de Champfêtu, c'est aussi contre plusieurs arbrisseaux ou arbustes, l'épine noire et même l'ajonc notamment. Cette constatation a de l'intérêt, parce que, sous l'empire d'idées préconçues, on a voulu établir entre ces espèces ligneuses de petite taille et les plantes adventives des cultures, connues des praticiens sous le nom de mauvaises herbes, des analogies trompeuses qui ont conduit et conduisent encore trop souvent à de très fausses opérations culturales. On fait dans ce cas une guerre acharnée à ces arbustes ou arbrisseaux, on en exporte des quantités considérables des forêts, alors que leur enlèvement, à tout le moins inutile, a pour inconvénient de faire perdre à des sols forestiers, souvent très pauvres, des quantités considérables de substances fertilisantes. Les faits observés dans le bois de Champfêtu prouvent que, même dans les cas où, au premier abord, leur présence semblerait le plus sûrement nuisible, elle est plutôt utile par l'abri qu'elle donne au sol ; que, dans tous les cas, elle n'empêche nullement la forêt de se constituer.

Un dernier enseignement ressort de ce qui a été exposé dans ce mémoire, c'est que, si les propriétés du sol forestier disparaissent rapidement lorsque la forêt est détruite, elles mettent un temps fort long à se reconstituer quand on ramène l'état boisé. Or, si celui-ci peut déjà être satisfaisant sur un sol qui n'a pas encore acquis entièrement la composition chimique, les caractères physiques et ce que j'ai appelé la structure de la terre forestière, c'est sur lui seulement que la vie de la forêt acquerra toute son intensité, que surtout elle sera devenue complètement normale, que l'ensemencement naturel, notamment, se produira abondamment pour toutes les essences. Tant que le sol n'est pas arrivé à son état définitif, cette dernière n'est bien souvent assurée que par la présence des mousses sur le sol. C'est ainsi que, dans le bois de Champfêtu, la présence d'un abondant tapis d'*Hylocomium triquetrum* dans les plantations de bouleau, me paraît avoir été très favorable à la germination et au développement des chênes et des hêtres, des châtaigniers. L'enlèvement de ces mousses est donc très préjudiciable de ce chef à la jeune forêt; il ne l'est pas moins, si l'on tient compte de la perte en principes fertilisants qu'il fait subir au sol.

Appendice.

J'ai dit plus haut que toutes les espèces cultivées volontairement ou inconsciemment par l'homme disparaissent lorsqu'on boise un sol agricole, qu'il y a lieu de noter une seule exception apparente qui est fournie par le *Melampyrum arvense L.* Je dis apparente, parce que cette plante, si commune dans les cultures, dans les blés particulièrement, avait disparu comme les autres. Elle a réapparu dans le vide des Terres blanches, où je l'ai observée pour la première fois en 1875 et qui avaient été cultivées pour la dernière fois en 1846. Comme je suis resté plusieurs années sans visiter le bois de Champfêtu à l'époque où ce *Melampyrum* est en fleurs, il est possible que sa réapparition soit un peu antérieure à cette date. Dans tous les cas, depuis ce moment cette plante a continué à se répandre dans tous les vides et sur les chemins en sol calcaire ; elle est certainement devenue un des éléments les plus importants de la

flore de ces stations, parfois même elle y est plus abondante que dans les champs cultivés voisins. Le *Melampyrum arvense,* plante adventive des cultures, où elle persiste d'ailleurs, est donc devenue une espèce complètement naturalisée, se reproduisant d'elle-même par semence dans les endroits incultes. Il y a là un fait des plus curieux et isolé, je crois, dans l'histoire des naturalisations : je ne l'ai vu étudié nulle part; il me semble par suite utile de le signaler avec quelques détails à l'attention des botanistes.

Le fait en lui-même semble cependant indiqué dans un ouvrage bien connu, mais d'une façon vague et sans que l'auteur ait attaché grande importance à son observation, sans que, surtout, il lui ait donné grande précision. Voici, en effet, ce que dit Michalet à propos de la distribution de la plante dans le Jura[1] : « Moissons de tout le Jura, sauf dans les sols siliceux; aussi dans les prés secs et les prairies artificielles. » Les prés secs semblent synonymes des pelouses sèches complètement incultes qu'on rencontre si fréquemment dans les régions calcaires. Michalet aurait donc vu dans les prés, dès 1864 ou à une époque un peu antérieure, le *Melampyrum arvense,* complètement en dehors des cultures, dans des conditions à peu près semblables à celles qui s'observent à Champfêtu pour la même plante. J'ai vérifié son observation aux environs de la gare de Mesnay-Arbois. J'ai trouvé également le *Melampyrum arvense* sur des pelouses du coteau jurassique aux environs de Nancy, notamment à la côte de Malzéville. Cette espèce se présente donc aujourd'hui en France avec toutes les apparences de la vraie spontanéité et, par suite, à l'état de naturalisation complète. Il n'en a pas toujours été ainsi : tous les botanistes de mon âge se rappellent l'avoir rencontrée autrefois exclusivement dans les moissons; si elle en sortait quelquefois, c'était, comme toutes les plantes de même nature, pour se montrer pendant une année dans quelque endroit voisin des cultures, dont le sol avait été remué accidentellement par l'homme, puis pour disparaître sans laisser de traces.

Aussi tous les auteurs de flores lui donnaient-ils jusqu'à l'époque

1. Ogérien, *Histoire naturelle du Jura. Botanique,* par Michalet. Paris, Lons-le-Saulnier, 1864, p. 251.

où Michalet fit paraître son catalogue et lui donnent-ils encore généralement aujourd'hui, comme unique station, les champs cultivés. C'est là que, dès le seizième siècle, on la rencontrait abondamment dans presque tous les pays de l'Europe, comme on peut le voir par l'article que Clusius[1] consacre à cette plante et la figure assez exacte dont elle est accompagnée. Sa présence a même été constatée à une époque un peu antérieure en Alsace, puisque la plante est mentionnée dans le *Kræuterbuch* de Tragus, mais elle paraît être, à cette époque, d'introduction assez récente dans l'Europe occidentale, car Gerarde ne l'indique pas en Angleterre où elle est signalée pour la première fois par Dillenius (*Syn.* 3e éd.). D'où venait-elle? M. A. de Candolle[2], après avoir fait remarquer l'absence de ce *Melampyrum* en Grèce et en Sicile, indique comme sa patrie probable les environs du Caucase. M. Franz Hellwig, dans un travail[3] consacré spécialement à l'étude de l'origine des mauvaises herbes des cultures et des plantes rudérales vivant en Allemagne, incline à admettre l'indigénat du *M. arvense* dans l'Allemagne du Centre et du S.-E., particulièrement en Silésie, en Bohême et en Moravie. Cependant il accompagne son nom du signe par lequel il désigne les espèces rencontrées *exclusivement* dans les champs cultivés.

Dans tous les cas, il n'en reste pas moins acquis que l'espèce, si elle n'est pas d'introduction très ancienne dans l'Europe occidentale, y existe depuis plus de trois siècles; qu'elle s'est maintenue d'abord exclusivement dans les cultures, qu'elle en est sortie depuis 25 à 30 ans au plus, qu'aujourd'hui elle se présente en abondance dans les pelouses sèches sur sol calcaire de certaines parties de la France, avec toutes les apparences de la spontanéité, à tel point que, si nous ignorions son histoire, rien ne pourrait nous donner à penser qu'elle n'a pas toujours vécu à l'état sauvage dans ces localités. Le fait est d'autant plus curieux qu'il s'agit d'une plante en partie parasite, qui ne peut vivre sans le secours d'une autre espèce[4] sur les racines de laquelle

1. *Caroli Clusii Rariorum plantarum, lib. IIII.* Antverpiæ, 1611, p. XLI.

2. A. D. Candolle, *Géographie botanique,* t. II, p. 677.

3. Franz Hellwig, *Ueber den Ursprung der Ackerunkräuter und der Ruderal pflanzen Deutschlands,* dans A. Engler, *Bot. Jahrb.*, t. VII, 1886, p. 422.

4. Decaisne, *Parasitisme des Rhinantacées* (*Ann. Sc. nat.,* 3e série, VIII, 1847, p. 5). Note insérée aux Comptes rendus du 28 avril 1845 et accompagnée d'un appendice.

les siennes s'implantent à l'origine. C'est en société des céréales, du blé en particulier, qu'elle est arrivée en France ; c'est sur ces plantes nourricières qu'elle s'est maintenue pendant longtemps à l'exclusion des graminées de la flore indigène, sur lesquelles elle s'implante aujourd'hui dans les stations où elle est devenue commune en dehors des cultures. Quelles sont les espèces qu'elle recherche ? J'ai trouvé dans son voisinage des *Brachypodium, Festuca, Poa, Phlœum, Kœleria, Dactylis, Holcus, Lolium.* Ces trois derniers genres représentés par les *H. lanatus, L. perenne, D. glomerata* très rarement. L'espèce rencontrée le plus fréquemment est le *Festuca duriuscula*. C'est elle qui me semble avoir été, par excellence, la plante nourricière du *Melampyrum arvense,* lorsque celui-ci s'est répandu dans les friches du bois de Champfêtu. J'ai tenté de les cultiver ensemble ; malheureusement, mon expérience n'a pas fourni de résultats bien nets à cause du défaut de soins donnés aux plantes pendant une absence que j'ai faite alors qu'elles étaient en pleine végétation.

On peut se demander si le *M. arvense* a subi quelque modification dans ses caractères extérieurs, en s'installant définitivement au milieu de la végétation spontanée ; mais avant d'examiner cette question, il est bon de voir ce que sont les échantillons venus du Caucase, c'est-à-dire du pays d'origine probable, dans des endroits incultes, comparés à ceux des cultures. J'ai pu faire cette comparaison en examinant les échantillons de l'espèce contenus dans l'herbier de la Faculté des Sciences de Nancy. A côté d'un grand nombre qui proviennent des champs cultivés de France et d'Allemagne, on en trouve un recueilli en 1842 par Hohenacker en Géorgie, « *in glareosis fluminis Golidscha prope Helenendof* », dit l'étiquette. Il a les feuilles plus développées, les bractées à dents moins fines, les tiges plus allongées, présentant moins de rameaux fertiles, mais un certain nombre de petits rameaux stériles. Les caractères relatifs à la tige et à la ramification se retrouvent sur les pieds qui se sont développés dans les pelouses sèches, notamment sur ceux de Mesnay-Arbois ; mais ils sont de peu de valeur, et les petits rameaux stériles s'observent parfois en aussi grand nombre sur les pieds provenant des cultures. On peut donc admettre que la plante s'est peu modifiée dans ses migrations et les changements de milieu qu'elle a subis ; il

y aurait peut-être lieu toutefois de faire une exception en ce qui concerne la couleur des graines ; la plupart des auteurs de flores modernes ne s'en sont pas occupés, mais les botanistes de qui les premiers ont étudié la plante, Tragus[1] par exemple, ont ainsi qualifié les graines : « *Semina purpureo colore tincta.* » Dans le siècle actuel, Kirschléger leur attribue la couleur noire[2] et Godron, dans sa *Flore de Lorraine*, les dit d'un jaune brunâtre. C'est cette dernière coloration que je leur ai toujours vue, notamment à Champfêtu. Je dois dire qu'un échantillon de l'herbier de la Faculté des Sciences de Nancy, recueilli à Dresde en 1843, a les graines bien positivement noires, ce qui donnerait raison à Kirschléger et aux pères de la botanique, dont il s'inspirait si volontiers. Je dois dire que ces graines ont une surface fort irrégulière, ce qui pourrait très bien dénoter un état de maturité incomplète, une coloration anormale par conséquent. Dans tous les cas, si les graines ont réellement changé de couleur, ce serait le seul caractère qui aurait varié d'une façon notable depuis l'époque déjà ancienne à laquelle le *M. arvense* a commencé à être étudié par les botanistes et on sait combien ces modifications dans la couleur des graines ont peu d'importance. Puisque la forme de la plante et de ses organes n'a pas sensiblement changé depuis le moment où elle est devenue apte à lutter contre les espèces indigènes en France, il ne reste que deux hypothèses pour expliquer le phénomène : ou bien le *M. arvense* a subi une modification physiologique qui l'a rendu plus vigoureux, qui aurait amené par suite une adaptation aux nouvelles conditions dans lesquelles il était appelé à vivre, ou bien il y aura eu, depuis l'époque de son arrivée en France, une légère modification de climat que l'imperfection des observations météorologiques jusqu'à ces dernières années n'aurait pas permis de constater et qui lui aurait été favorable. Il est difficile, jusqu'à nouvel ordre, de se prononcer en faveur de l'une ou de l'autre opinion ; disons cependant que la seconde est rendue assez vraisemblable par quelques modifications

1. Tragus, dans Bauhin, *Historia plantarum*. Ebroduni, 1651, III, p. 439.
2. *Flore d'Alsace*. Strasbourg, 1852, I, p. 603.
3. 1re édit. Nancy, 1843, III, p. 174.

remarquables survenues récemment dans les aires de quelques plantes, de quelques animaux aussi, par le degré de fréquence plus grand de certaines espèces dans des stations qui n'ont d'ailleurs subi aucune autre modification appréciable.

A quelque explication qu'on s'arrête, le changement survenu dans ce qu'on pourrait appeler les habitudes du *M. arvense* n'en est pas moins remarquable ; il me semble justifier l'étude que je viens d'en faire.

RECHERCHES

SUR

LA PÉNÉTRATION OU LA SORTIE DES GAZ

DANS LES PLANTES

PAR LOUIS MANGIN

DOCTEUR ÈS SCIENCES, PROFESSEUR DE SCIENCES NATURELLES AU LYCÉE LOUIS-LE-GRAND.

HISTORIQUE

Les gaz absorbés ou dégagés par les végétaux pendant l'accomplissement des phénomènes respiratoire ou chlorophyllien peuvent pénétrer dans le corps des plantes aériennes par deux voies différentes :

1° Par diffusion à travers les membranes cutinisées qui recouvrent la surface des organes exposés à l'air ;

2° Directement à travers l'ostiole des stomates situés dans l'épiderme de la tige ou de la feuille.

La part qui revient à chacune de ces deux voies d'introduction ou d'exhalation des gaz est encore inconnue, malgré de nombreuses recherches, parce que les observateurs qui se sont occupés de cette importante question n'ont abordé le problème à résoudre que par un côté.

Ce problème est en effet double : il faut d'abord déterminer la quantité de gaz *a* qui peut diffuser, dans des conditions données, à travers la cuticule des organes ; il faut ensuite mesurer la quantité de gaz *b* qu'un organe de surface connue peut absorber ou exhaler, en pleine activité, dans les mêmes conditions et à l'état normal.

La comparaison de ces quantités permettra seule de résoudre la question. Si la quantité de gaz diffusés *a* est inférieure à la quantité de gaz consommés *b*, on devra conclure à la nécessité des stomates, chargés de fournir à la plante la différence $b - a$; si, au contraire, la quantité de gaz diffusés est supérieure ou égale à la quantité de gaz consommés par les tissus, la perméabilité des membranes assurera seule, dans ce cas, les échanges gazeux, et le rôle des stomates deviendra secondaire.

Les éléments d'une semblable comparaison manquent dans tous les travaux publiés sur cette question ; on s'explique alors la discordance des résultats publiés jusqu'ici et l'impossibilité, en l'état actuel, d'infirmer ou d'affirmer le rôle prépondérant des stomates dans les échanges gazeux respiratoire ou chlorophyllien.

Les premières observations relatives au rôle des stomates, dues à Raffeneau-Delille[1], à Leitgeb et Unger[2], ont été vérifiées et multipliées par Sachs[3]. Elles consistent à montrer que, sous l'influence d'une pression plus ou moins considérable, on peut faire sortir des gaz par les stomates du limbe d'une feuille en insufflant le pétiole, ou inversement.

L'une des expériences les plus curieuses réalisées par M. Sachs est la suivante[4] : le limbe d'une feuille est placé dans une cloche renversée de manière que le pétiole, traversant un bouchon qui ferme la douille de la cloche, vienne plonger au fond d'un vase renfermant de l'eau de chaux ; on amène de l'acide carbonique dans la cloche de manière à submerger le limbe dans ce gaz, puis on fait le vide dans le flacon renfermant l'eau de chaux. Aussitôt des bulles de gaz sortent par l'extrémité du pétiole et viennent troubler l'eau de chaux.

Peut-on accepter, pour cette expérience, l'interprétation de M. Sachs et admettre avec lui que les gaz entrent et sortent par les stomates ?

---

1. Raffeneau-Delille, *Ann. Sc. nat.*, 1841, t. XIV, p. 328.
2. Unger, *Sitzungsber. der k. Akad. der Wiss.* Wien, 1857, XXV.
3. Sachs, *Physiologie végétale* (trad. française), p. 266 et suiv. Genève, 1868.
4. *Loc. cit.*, p. 275.

Évidemment non, car il faudrait admettre que la cuticule ne laisse pas passer les gaz; or, déjà en 1849, Garreau[1] avait montré que les écailles dépourvues de stomates de l'*Allium Cepa* laissent diffuser l'acide carbonique en assez grande quantité; il est certain, d'après cela, que les expériences de M. Sachs donneraient les mêmes résultats si on les répétait avec des membranes ou des feuilles dépourvues de stomates.

D'ailleurs, M. Sachs ne paraît pas bien convaincu de l'efficacité des stomates dans les échanges gazeux, car, avant de décrire ses expériences, il s'exprime ainsi[2]: « Les ouvertures stomatiques qui servent « de communication à tous ces réservoirs (lacunes, méats, etc.) avec « l'extérieur sont à la vérité fort nombreuses, mais si étroites, que « les différences de pression ne peuvent s'égaliser que lentement. »

Les expériences de Garreau[3] sont plus précises et ne soulèvent pas l'objection qu'on a encore faite aux précédentes, de ne pas réaliser les conditions normales de la végétation. Garreau choisissait une feuille adhérente encore à la plante et fixait sur chacune de ses faces un récipient en verre ayant la forme d'un entonnoir, contenant une nacelle avec de l'eau de chaux ou du chlorure de calcium, suivant que l'on voulait mesurer l'exhalation de l'acide carbonique ou de la vapeur d'eau. En ce qui concerne l'exhalation de l'acide carbonique, qui nous intéresse seule ici, l'auteur a trouvé, en opérant sur les feuilles les plus diverses (*Polygonum, Tilia, Vitis, Acer, Althæa*, etc.), que la face inférieure laisse exhaler plus d'acide carbonique que la face supérieure, et il conclut ainsi[4]: « La quantité « expirée de ce gaz (acide carbonique) paraît être plutôt en rapport « avec le nombre des stomates que l'eau exhalée ne l'est avec le « nombre de ces pores. »

Il manquait à ces recherches, pour élucider complètement la question, des expériences de contrôle mesurant la quantité de gaz

1. Garreau, *Recherches sur l'absorption et l'exhalation des surfaces aériennes des plantes*. (*Ann. Sc. nat.*, 3e série, t. XIII. 1849.)

2. *Loc. cit.*, p. 270.

3. *Loc. cit.*, p. 335, fig. 1, pl. II, et tableaux des pages 342, 343.

4. *Loc. cit.*, p. 345.

qui peut diffuser à travers la cuticule seule, abstraction faite des stomates. En effet, si la cuticule de la face inférieure des feuilles est plus perméable que celle de la face supérieure (et l'examen microscopique des feuilles rend cette opinion vraisemblable), les différences trouvées par Garreau dans l'exhalation de l'acide carbonique s'expliqueraient sans l'intervention des stomates.

En 1860, Boussingault[1], dans son classique mémoire sur les fonctions des feuilles, vient contredire, pour le phénomène chlorophyllien, les résultats que Garreau avait établis pour le phénomène respiratoire. Boussingault compare la décomposition de l'acide carbonique dans deux feuilles aussi semblables que possible, collées par une de leurs faces avec de l'empois d'amidon ou du suif sur une feuille de papier noir.

Dans l'une, l'enduit couvre la face inférieure et par suite bouche les stomates; dans l'autre, l'enduit couvre la face supérieure et laisse ces orifices libres. Les deux feuilles, placées dans des cloches contenant un mélange, en proportions connues, d'air et d'acide carbonique, sont exposées à la lumière par la face restée libre.

Dans ces conditions, la feuille éclairée par la face supérieure et dont les stomates sont bouchés, a toujours décomposé plus d'acide carbonique que la feuille à stomates libres. Aussi, Boussingault s'est-il cru autorisé à dire que dans l'action chlorophyllienne, les stomates ne paraissent pas indispensables à la décomposition de l'acide carbonique.

La plupart des botanistes ont accepté les vues de l'éminent physiologiste sans discuter les conditions dans lesquelles ses expériences ont été réalisées, et cependant, si ces dernières sont irréprochables, la conclusion déduite par Boussingault ne saurait être admise.

Remarquons d'abord que l'auteur ne s'est point assuré si les stomates étaient bouchés, il a admis que l'occlusion de ces orifices était complète; cela n'est pas certain, car la nature des enduits employés s'oppose à une adhérence complète. En effet, l'empois d'amidon ne tarde pas à se séparer en grumeaux, et le suif, étalé à l'état

1. Boussingault, *Sur les fonctions des feuilles.* (*Annales de chimie et de physique*, 1868.)

de fusion, se fendille et se détache par plaques à la suite du refroidissement.

Mais l'objection la plus importante qu'on peut présenter contre ces conclusions est relative aux conditions inégales dans lesquelles se trouvent les feuilles à comparer : la feuille à stomates bouchés est éclairée par la face supérieure, c'est-à-dire la plus riche en pigment vert, tandis que la feuille à stomates libres reçoit la lumière par sa face inférieure plus pauvre en chlorophylle. On conçoit que ces différences dans l'éclairement ont pu seules, et indépendamment des stomates, produire les résultats qui ont servi à formuler les conclusions de Boussingault. La précaution prise par ce physiologiste de comparer les deux feuilles placées dans les conditions précédemment indiquées, à une troisième, normale et éclairée sur ses deux faces, n'est pas suffisante pour lever tous les doutes, car cette feuille n'est pas plus comparable aux deux autres que celles-ci ne le sont entre elles.

Quelque temps avant la publication des recherches de Boussingault, M. Graham[1] faisait connaître ses importants travaux sur la vitesse de diffusion des gaz à travers le caoutchouc.

Ces résultats, rapprochés des conclusions de Boussingault, permirent d'expliquer la circulation des gaz dans la plante sans faire intervenir les stomates, dont le rôle devenait dès lors de plus en plus problématique.

M. Barthélemy[2] essaya même de prouver que les stomates n'ont aucune influence dans les échanges gazeux, en montrant que la diffusion des gaz s'opère très rapidement à travers l'épiderme des organes aériens. Je n'insisterai pas sur les résultats, d'ailleurs peu nombreux, publiés par ce botaniste, car la méthode employée est tellement défectueuse qu'on est surpris de voir l'auteur obtenir dans ses expériences des résultats semblables à ceux de M. Graham. M. Barthélemy étudiait en effet la diffusion des gaz à travers des feuilles sèches de *Begonia* dans un appareil analogue à celui dont s'est servi le physicien anglais ; M. Barthélemy n'a pas tenu compte

1. Graham, *On the absorption and dialytic separation of gases by colloïd septa* (*Philosophical Transactions*, 1866).

2. *Ann. Sc. nat.*, t. XIX, 1874.

des stomates et des déchirures nombreuses qui existent dans une feuille sèche !

Pour terminer ce court exposé, je signalerai les ingénieuses et délicates recherches par lesquelles M. Merget[1], renouvelant les expériences de Sachs et d'Unger, a montré que certaines vapeurs (vapeurs mercurielles, de brome, d'iode, etc.) ne peuvent entrer et sortir que par les stomates.

On peut objecter à ces résultats que les gaz employés sont, par leurs propriétés physiques et chimiques, tellement différents des gaz que la plante absorbe ou exhale normalement, que la conclusion applicable aux premiers ne peut être légitimement étendue aux derniers. L'emploi d'un enduit-réserve qui, en bouchant les stomates, a supprimé la sortie des gaz expérimentés, n'est pas probant, car l'auteur aurait dû s'assurer que cet enduit n'altère pas la perméabilité de la cuticule normale ; l'absence de ce contrôle rend possible l'intervention des membranes dans la circulation des gaz.

M. Merget a réalisé aussi une expérience qui, suivant lui, met bien en évidence l'entrée et la sortie des gaz par les stomates. Dans une cloche remplie d'hydrogène, et renversée sur la cuve à eau, l'auteur introduit le limbe d'une feuille dont l'extrémité du pétiole est hors de l'eau. Si l'on fait varier le niveau de l'eau dans la cloche de manière à déterminer les différences de pression entre l'atmosphère d'hydrogène et l'air ambiant, on constate : « au bout d'un « temps qui peut varier de quelques heures à plusieurs jours, que « l'éprouvette à hydrogène se vide totalement de ce gaz qui est « remplacé par un mélange des trois quarts atmosphériques en « proportions variables avec le degré de vitesse du passage. » Mais, si la cuticule des feuilles mises en expérience est perméable aux gaz, et le fait n'est pas douteux, comme on l'a vu plus haut, le même résultat serait obtenu par l'emploi des membranes dépouillées de stomates. L'application de l'enduit-réserve ne résout pas la difficulté, puisque l'auteur ignore si cet enduit maintient ou supprime la perméabilité des membranes sur lesquelles il est appliqué.

Les recherches de M. Merget, en établissant d'une façon indiscu-

---

1. Merget, *Comptes rendus*, février 1877, août 1878.

table le rôle des stomates dans l'exhalation de la vapeur d'eau, laissent encore indécise la question de l'exhalation des autres gaz, et les objections que nous avons formulées contre les conclusions de M. Sachs, de Garreau, ont conservé toute leur valeur.

L'exposé qui précède montre que, s'il existe une grande probabilité en faveur du rôle prépondérant joué par les stomates dans tous les échanges gazeux, nous ignorons toujours la valeur de la perméabilité des membranes pour les gaz et, par suite, l'importance de la diffusion dans les échanges gazeux normaux. Nous ne pouvons donc, en l'absence de données précises sur cette dernière question, considérer le rôle des stomates comme établi. Cette considération justifie les recherches que j'ai entreprises et dont je vais maintenant faire l'exposé.

Ces recherches comprendront deux parties : la première est relative à la mesure de la perméabilité des membranes, abstraction faite des orifices qui s'y trouvent, cette question n'ayant pas encore fait, à ma connaissance, l'objet d'aucun travail au moment de la publication des notes qui ont précédé ce mémoire[1]. La seconde partie comprend l'examen des modifications subies par les échanges gazeux normaux, quand les stomates sont bouchés, la perméabilité des membranes étant maintenue intacte.

PREMIÈRE PARTIE

DIFFUSION DES GAZ A TRAVERS DES SURFACES CUTINISÉES

I. — Description de la méthode.

Pour mesurer la diffusion des gaz à travers les membranes j'ai employé une méthode différente de celle employée par M. Graham dans ses importantes recherches.

a) *Description de l'appareil* (V. Pl. XXIV). — L'appareil que j'ai

---

1. L. Mangin, *Comptes rendus,* juin 1867, novembre 1887, mars 1888.

construit se compose de deux manchons de cristal A et B, de 10 centimètres de longueur environ et de 3 centimètres de diamètre. Chaque manchon est pourvu de garnitures métalliques qui permettent de le fermer hermétiquement au moyen de 4 vis.

Les deux manchons peuvent être appliqués bout à bout et la garniture de l'un d'eux, A, est fermée par une plaque de laiton *p* percée d'un très grand nombre de trous; c'est entre les deux manchons et contre la plaque perforée de laiton que se trouve placée, maintenue par pression, la membrane dont on veut mesurer la perméabilité.

Les extrémités libres de chaque manchon reçoivent comme garniture métallique un petit tube de laiton de 2 centimètres de longueur et de même diamètre que les manchons; ce tube reçoit un bouchon dans lequel sont engagés les tubes destinés à l'introduction des gaz; les tubes sont, ainsi que le bouchon de liège, recouverts d'un lut formé par un mélange de vernis Golaz et de vaseline (ce lut a l'avantage de se conserver longtemps dans l'eau sans se fendiller).

Le manchon A, garni de la plaque perforée *p*, est muni d'un thermomètre *t*, d'un tube abducteur *a* à robinet, d'un autre tube abducteur *b* à robinet, recourbés tous deux à angle droit vers la partie supérieure; sur le tube abducteur *b* on fixe, au moyen d'un collier à gorge *c*, un manomètre à air libre *m* dont la partie inférieure communique, par une tubulure, avec une petite seringue à mercure *s* qui permet de maintenir le niveau du mercure constant dans la branche fermée.

Le manchon B est muni de deux tubes abducteurs fermés par des robinets de verre *a'* et *b'*.

Pour monter l'appareil, on place entre les deux manchons la membrane à étudier, collée entre deux lames de mica au moyen de gélatine glycérinée; l'ouverture circulaire pratiquée dans les lames de mica a une surface de 2 ou de 4 centimètres carrés.

Une rondelle de papier imprégnée de vaseline est placée sur chaque face de la double lame de mica et, pour éviter que la membrane ne se colle contre la plaque perforée de laiton, on intercale entre elle et cette dernière une rondelle de papier à filtrer qui reste, même après la pression, suffisamment poreuse pour faciliter la libre circulation des gaz qui diffusent. On ferme les extrémités des deux man-

chons au moyen de garnitures métalliques entre lesquelles on a intercalé aussi des rondelles de papier imprégné de vaseline.

J'ai adopté cette disposition pour obtenir une fermeture hermétique, tout en permettant un montage très rapide de l'appareil.

Cet appareil est placé horizontalement dans une cuve remplie d'eau. Le manchon A est mis en communication avec un appareil à acide carbonique; une éprouvette remplie de ponce sulfurique est intercalée entre le manchon et le générateur d'acide carbonique. Le manchon B communique avec un appareil à hydrogène muni aussi d'une éprouvette à ponce sulfurique.

b) *Préparation des membranes.* — Les membranes dont on veut mesurer la perméabilité peuvent être isolées par l'action de la potasse étendue et bouillante, de l'acide sulfurique concentré ou par la macération.

La potasse en solution étendue et bouillante dissocie les tissus sous-jacents à l'épiderme et permet d'obtenir rapidement des surfaces épidermiques d'une grande étendue, mais elle a l'inconvénient de dissoudre la matière cireuse de l'épiderme et d'attaquer la cutine, comme on peut le voir par les chiffres suivants :

		PERMÉABILITÉ.
Amélanchier commun.	Cuticule isolée par la potasse à 4 p. 100. . .	26.07
	— traitée par la potasse à 10 p. 100. .	40.08

J'ai donc dû renoncer à l'emploi de la potasse.

L'acide sulfurique concentré et froid gonfle et finalement dissout la cellulose en laissant intacte la cutine qui revêt l'épiderme; j'ai dû aussi renoncer à l'emploi de ce réactif parce que la cutine se brise en fragments et se déchire facilement, lorsqu'on a réussi à en obtenir des lambeaux de quelques centimètres.

Le seul procédé qui m'ait réussi pour obtenir des cuticules normales, est la macération dans l'eau contenant le *Bacillus Amylobacter*. On sait que lorsqu'on fait macérer des feuilles dans l'eau qui contient cette bactérie, les tissus sont dissociés et les membranes cellulaires disparaissent, l'*Amylobacter* dissout d'abord la membrane moyenne qui cimente les cellules entre elles et par là même isole les membranes épidermiques.

Il est important, comme on le verra plus loin, d'opérer la macération à basse température pour éviter d'attaquer la substance cireuse qui revêt et qui imprègne la cutine. La température qui convient le mieux est la température ordinaire (10° à 15°) ; la dissociation des tissus est plus lente qu'à 30°, mais sa rapidité varie suivant les plantes. Avec les feuilles d'Iris, de Lis, de Jacinthe, la dissociation est très rapide (2 ou 3 jours) ; avec les feuilles de Houx, de Poirier, de *Bupleurum* elle dure plus longtemps, enfin elle est lente avec les feuilles de Lierre, de Fusain. Il y a certaines feuilles dont je n'ai pas réussi à isoler la cutine, telles sont par exemple les feuilles de Hêtre, de Scolopendre.

Quant aux feuilles aquatiques, elles ne résistent pas à la macération comme on le dit ordinairement, mais la cutine isolée dans ces conditions est tellement mince et fragile, qu'on ne peut en obtenir sans déchirures des fragments assez grands pour mesurer directement la perméabilité.

Lorsqu'on a obtenu des lambeaux d'épiderme, on les fixe de la manière suivante : deux lames de mica de la largeur des garnitures présentent un trou de 2 centimètres carrés ou de 4 centimètres carrés de surface ; l'une des lames étant couverte d'une couche de gélatine, on applique sur elle la surface épidermique, on enduit le bord de celle-ci de gélatine et on place la seconde lame de mica ; en chauffant à une douce chaleur, la gélatine fond et soude intimement l'épiderme aux deux lames de mica. On n'a plus qu'une surface de 2 ou de 4 centimètres carrés à travers laquelle la diffusion des gaz peut se produire.

c) *Conduite d'une expérience.* — Une lame de mica étant préparée avec une feuille de Houx, par exemple, dont la cuticule a été traitée par l'alcool, et dont la surface est de 4 centimètres carrés, on place cette lame entre les deux garnitures métalliques de chaque manchon, en intercalant, de chaque côté de la lame, une rondelle de papier imprégné de vaseline (j'ai supprimé l'emploi du caoutchouc qui a l'inconvénient d'adhérer aux surfaces lorsqu'il est fortement pressé). La fermeture hermétique est obtenue en serrant au moyen de vis les deux garnitures métalliques l'une contre l'autre. Puis on

place les manchons dans la cuve en fixant au moyen du collier à gorge *c* le manomètre *m* au tube *b*.

On fait circuler dans le manchon A de l'acide carbonique et dans le manchon B de l'hydrogène en quantité suffisante pour balayer complètement l'air que ces deux manchons renfermaient. On ferme les robinets de chaque manchon, on lit le niveau du mercure dans le manomètre au moyen d'un cathétomètre et on note en même temps la pression et la température.

Niveaux du manomètre à 4h55. . .	Branche fermée. . .	203mm,50
	— ouverte. . .	203mm,40
Température 12°	H = 752,25	

On fait des lectures successives à divers intervalles en ramenant chaque fois le niveau du mercure dans la branche fermée à 203mm,50 ou à

4h55	(203,50)
	203,40
5h05	200,10
5h15	196,20
5h25	192,30
5h30	190,40

La dépression est de 13 millimètres pour 35 minutes, mais la pression ayant baissé de 0mm,25 dans l'intervalle, la dépression réelle est de 13mm,25 ou par heure de 22mm,60.

Cette dépression mesure la différence qui existe entre la dépression due à la sortie de l'acide carbonique du manchon A et l'augmentation causée par la pénétration, dans ce même manchon, d'une certaine quantité d'hydrogène.

Pour connaître la dépression due à la diffusion de l'acide carbonique, ou de l'hydrogène seul, on recommence l'expérience de la manière suivante :

On enlève la garniture métallique du manchon A portant les tubes à gaz ; on introduit une nacelle de platine renfermant une petite quantité de potasse caustique, puis, après avoir remonté l'appareil, on fait arriver de l'hydrogène pur dans le manchon A et de l'acide carbonique dans le manchon B ; la diffusion des gaz va s'opérer dans les mêmes conditions que précédemment, mais au fur et à mesure de la pénétration de l'acide carbonique en A, la potasse

absorbe complètement ce gaz, de telle sorte que la dépression que l'on mesure est due à l'hydrogène seul.

H = 752		T = 12°5
5^h50	203,00	
	202,68	
6^h00	200,70	
6^h10	198,50	
6^h15	197,50	
6^h20	196,70	H = 751,80

La dépression pour une demi-heure est $5^{mm},98 + 0^{mm},20 = 6^{mm},18$ ou, par heure et pour 4 centimètres carrés de surface, $12^{mm},36$.

La dépression due à l'hydrogène seul étant $12^{mm},36$, et la dépression mesurant la différence de perméabilité des deux gaz étant $22^{mm},10$, la dépression due à l'acide carbonique seul sera $35^{mm},04$.

d) *Mesure de la capacité de l'appareil.* — Le volume de gaz traversant les membranes pourra être déduit des valeurs précédentes, quand on connaîtra la capacité de l'appareil. Celle-ci a été déterminée de la manière suivante :

On adapte à l'un des tubes du manchon A une pompe en verre dont le piston, en se déplaçant, peut faire varier la capacité du vase d'une quantité connue.

Le niveau du mercure dans le manomètre étant :

B. f.	$203^{mm},40$
B. o.	203 ,06

la pression extérieure H : 758,90

On déplace le piston en augmentant le volume de $2^{cm^3},320$, on mesure une dépression de $34^{mm},32$ d'où

$$\text{Capacité totale} = \frac{758,9 \times 2,32}{34,32} = 51^{cm^3},29$$

La moyenne de plusieurs expériences donne pour capacité de l'appareil 52 centimètres cubes et, en défalquant la capacité des tubes situés en dehors des robinets, on a sensiblement 50 centimètres cubes.

Si l'on se reporte à l'expérience précédente, on verra que la dé-

pression $35^{mm},04$, due à la diffusion de l'acide carbonique seul, correspond à la disparition de $4^{cm^3},583$ par heure sur un volume de 100 centimètres cubes ou, pour un volume de 50 centimètres cubes, la moitié, c'est-à-dire $2^{cm^3},292$.

La cuticule du Houx employée dans l'expérience décrite a donc laissé passer $2^{cm^3},292$ d'acide carbonique à travers une surface de 4 centimètres carrés, sous la pression de 760 millimètres.

e) *Précautions à prendre pour éviter les erreurs dues à la présence des stomates ou aux déchirures.* — En préparant les membranes de la manière que nous avons indiquée il peut arriver que des orifices imperceptibles se produisent sans qu'on puisse les déceler même au microscope ; dans ces conditions les dépressions manométriques qui servent à mesurer la perméabilité ont une valeur plus faible parce que l'équilibre, rompu à la suite de la diffusion inégale des gaz, tend à se rétablir par ces pores à peine visibles.

D'autre part, on ne peut mesurer par la disposition qui précède la perméabilité des surfaces épidermiques perforées de stomates.

J'ai cherché à faire disparaître cette difficulté en enduisant la cuticule d'un enduit bouchant les stomates ou les orifices accidentellement formés dans sa surface sans altérer sa perméabilité.

Les lames de collodion obtenues en laissant évaporer, sur une plaque de verre, une mince couche de solution éthérée de pyroxyle, possèdent une grande perméabilité, mais on ne peut pas maintenir une adhérence complète entre elles et la cuticule dont on veut mesurer la perméabilité. Au contraire, la gélatine glycérinée à 10 p. 100 convient très bien parce qu'elle reste liquide à 30° et peut facilement s'étaler au pinceau en restant très adhérente aux surfaces cutinisées.

Les expériences suivantes montrent bien que la présence de cet enduit n'altère en aucune façon la perméabilité des surfaces cutinisées.

		DÉPRESSION.
Potamogéton.	Feuille vivante, non gélatinée, 2 centim. carrés . . .	$5^{mm},76$
	— gélatinée sur ses deux faces, 2 centim. carrés	5 ,75
Poirier. . . .	Feuille vivante (on mesure la perméabilité de la face supérieure, car la face inférieure est munie de stomates).	0 ,88
	Cuticule, face supérieure, 2 centim. carrés	1 ,02

II. — Influence de la pression sur la vitesse de diffusion d'un gaz donné.

Il est vraisemblable que la vitesse de diffusion d'un gaz donné doit être proportionnelle à la différence des pressions exercées sur les deux faces de la membrane servant de septum; néanmoins, j'ai voulu vérifier le fait expérimentalement et, dans ce but, j'ai employé le dispositif suivant. (*V.* Pl. XXV.)

Un tube A est fermé à une de ses extrémités par un tampon de plâtre *p* sur lequel on fixe la membrane à étudier *m* en la recouvrant d'un enduit de gélatine glycérinée, l'autre extrémité est fermée par un bouchon que traversent deux tubes à gaz *a'* et *b'*. Le tube A est fixé dans une garniture métallique qui permet de l'engager dans un manchon de verre plus large B, fermé par un bouchon que traversent les tubes *a* et *b*.

Le tube *a* communique avec un récipient renfermant le gaz dont on veut étudier la perméabilité, le tube *b* communique avec le tube *b'* du manchon A, la communication peut être interrompue par le robinet *r;* enfin sur le tube *a'* on ajuste un tube calibré renfermant un index de liquide.

Lorsqu'on veut mettre une expérience en train, on fait arriver le gaz à étudier dans le manchon B, et, le robinet *r* étant ouvert, il pénètre dans le manchon A pour s'échapper ensuite à l'extérieur. On ferme les robinets *r* et *r'* et on établit dans le manchon B, au moyen du gazomètre à mercure *R,* une augmentation de pression mesurée, au moyen d'un cathétomètre, sur le manomètre M qui accompagne l'appareil; en vertu de cette différence de pression le gaz diffuse à travers la membrane *m* du manchon B vers le manchon A, et le volume diffusé est mesuré par le déplacement de l'index dans le tube calibré.

Il suffit alors de noter le temps employé par l'index pour se déplacer d'un certain nombre de divisions, pour connaître la vitesse d'écoulement du gaz sous la pression que marque le manomètre.

Si l'on n'a pas de tube calibré convenable, on le remplace par un tube capillaire recourbé dont la pointe plonge dans l'eau; dans ce

cas, le nombre des bulles qui s'échappent par seconde permet encore d'exprimer la vitesse de diffusion [1].

Expérience n° 1.

Acide carbonique.

DIFFÉRENCE des pressions.	RAPPORT des pressions.	NOMBRE DE BULLES dégagées dans l'eau.	RAPPORT du nombre de bulles.
90mm,0	1,85	23 en 3 min. ou 7,66 par min.	1,82
167 ,0		14 en 1 min.	
73 ,0	1,66	12 en 2 min.	1,71
121 ,5		7 en 2 min.	
65 ,0	1,58	25 en 2 min.	1,56
41 ,0		16 en 2 min.	

Expérience n° 2.

Air.

DIFFÉRENCE des pressions.	RAPPORT.	NOMBRE DE BULLES dans l'eau par minute.	RAPPORT.
46mm,0	2,08	3,50	2,00
96 ,0		7,00	
96 ,0	1,51	7,00	1,50
145 ,0		10,50	
145 ,0	1,72	10,50	1,67
84 ,0		6,25	
84 ,0	3,05	6,25	3,12
27 ,5		2,00	

Les expériences suivantes ont été réalisées avec un tube calibré renfermant un index ; on a noté le temps employé par cet index pour parcourir une certaine longueur du tube.

---

1. La disposition fondamentale de l'appareil représenté (fig. 2) est exactement celle des expériences par lesquelles MM. Sachs et Merget (voyez plus haut) ont cherché à démontrer le passage des gaz à travers les stomates, et l'on voit que dans ces conditions, avec une membrane entièrement dépourvue de stomates, on obtient, pour des pressions très faibles, un écoulement rapide de gaz; cet écoulement s'observe avec une grande netteté quand on emploie un tube capillaire qui dégage de nombreuses bulles au sein de l'eau. On conçoit ainsi la valeur de l'objection présentée aux conclusions des expérimentateurs nommés plus haut.

Expérience n° 3.

11 mai 1887.

Air.

DIFFÉRENCE des pressions.	TEMPS EMPLOYÉ par l'index pour parcourir une division du tube.	VITESSE d'écoulement. $\frac{100}{t}$
—	—	—
14mm,0	65sec	1,55
29 ,6	28 ,5	3,50
39 ,8	21 ,1	4,73
52 ,3	16 ,0	6,13

Expérience n° 4.

11 mai.

Hydrogène.

DIFFÉRENCE des pressions.	TEMPS EMPLOYÉ par l'index pour parcourir une division du tube.	VITESSE d'écoulement. $\frac{100}{t}$
—	—	—
8mm,5	53sec,5	1,86
12 ,7	41 ,0	2,43
15 ,0	30 ,0	3,33
16 ,4	29 ,0	3,44
23 ,3	20 ,5	4,10
27 ,7	16 ,5	6,00
36 ,4	12 ,0	8,30
38 ,0	11 ,5	8,69

Expérience n° 5.

11 mai.

Oxygène.

DIFFÉRENCE des pressions.	TEMPS EMPLOYÉ par l'index pour parcourir une division du tube.	VITESSE d'écoulement $\frac{100}{t}$
—	—	—
5mm,50	185sec,00	0,54
20 ,00	46 ,50	2,14
22 ,40	40 ,00	2,50
32 ,50	26 ,50	3,77
37 ,30	23 ,00	4,34
43 ,30	19 ,33	5,18
51 ,70	16 ,00	6,25
58 ,00	14 ,33	7,00

On voit, en consultant ces tableaux, *que la vitesse de diffusion d'un gaz déterminé à travers une membrane donnée est proportionnelle à la différence des pressions que ce gaz exerce sur les deux faces de la membrane.*

L'influence de la pression peut être traduite d'une façon plus nette que par l'examen des tableaux précédents, en construisant des courbes joignant les points correspondants aux diverses pressions relatées plus haut; chaque point est obtenu en comptant sur l'axe des abcisses une longueur proportionnelle à la différence des pressions, à l'extrémité de chacune de ces longueurs on élève une ordonnée dont la longueur est proportionnelle à la vitesse d'écoulement correspondante.

Le diagramme de la planche XXVI montre que les courbes obtenues sont des droites passant par l'origine des abscisses et des ordonnées.

La proportionnalité de la vitesse de diffusion à la différence des pressions permettra, étant connu le coefficient de diffusion d'un gaz à la pression normale, de calculer les quantités de ce gaz qui peuvent diffuser dans des circonstances où la pression varie.

III. — Comparaison de la vitesse de diffusion des divers gaz.

Deux méthodes peuvent être employées pour comparer la vitesse de diffusion des divers gaz.

1[re] *méthode.* — La première a été exposée en détail plus haut dans la description d'une expérience type; elle consiste à introduire de l'acide carbonique dans le manchon à manomètre, et de l'hydrogène par exemple dans l'autre manchon, les deux gaz étant à la pression normale.

On mesure au cathétomètre une dépression h qui exprime la différence entre la pression de l'acide carbonique disparu et celle de l'hydrogène entré.

On change alors les gaz de manchon, après avoir introduit dans le manchon à manomètre une nacelle contenant un volume connu de potasse caustique; on mesure une nouvelle dépression h' qui représente la pression de l'hydrogène sorti du manchon, puisque

l'acide carbonique qui entre est fixé au fur et à mesure par la potasse.

Le rapport des vitesses de diffusion est alors

$$\frac{V_{CO^2}}{V_H} = \frac{h + h'}{h'}.$$

Pour exprimer les différences de diffusibilité des gaz, on peut, au lieu de prendre le rapport des vitesses, exprimer la durée d'écoulement de volumes égaux de gaz différents dans les mêmes conditions, en considérant la durée d'écoulement de l'acide carbonique, égale à l'unité. Comme les durées d'écoulement sont inversement proportionnelles aux vitesses, on aura :

$$\frac{D_H}{D_{CO^2}} = \frac{h + h'}{h}.$$

Dans ces expériences il n'est pas nécessaire de connaître la valeur absolue des gaz diffusés, les dépressions de la colonne manométrique suffisent seules.

Les séries d'expériences suivantes ont été réalisées avec des cuticules de la face supérieure des feuilles de Houx, rendues très perméables par un lavage à la benzine et à l'alcool bouillants qui dissolvent la matière cireuse.

Expérience n° 6.

Cuticule de Houx. — 13 *mai* 1887.

a) *Hydrogène et acide carbonique.* — Ce dernier dans le tube manométrique.

	T. 14°	H = 759,70
5h30	200,40	
	201,00	
5h40	199,70	Dépression = 5,0
6h10	194,70	

Dépression par heure 10mm,00.

b) *Acide carbonique et hydrogène.* — Ce dernier gaz est renfermé dans le tube manométrique avec la potasse caustique.

8h45	202,00		H = 761,10
	199,40	13,20	
11h15	186,20		H = 759,85

Dépression par heure 5mm,60.

c) *Air et acide carbonique.* — Ce dernier dans le tube manométrique.

$$H = 759,80$$

$$\begin{array}{lll} 1^h30 \left\{ \begin{array}{l} 202,00 \\ 202,00 \end{array} \right. & & \\ 2^h00 \quad 195,50 & \left. \right\} 6,5 & \end{array}$$

Dépression par heure $13^{mm},5$.

La dépression pour l'hydrogène seul étant $5^{mm},60$, celle de l'acide carbonique seul sera $10 + 5,60 = 15^{mm},60$ et, par suite, le rapport des durées d'écoulement d'une même masse de chacun des gaz dans les mêmes conditions à travers la même membrane sera :

$$\frac{D_H}{D_{CO^2}} = \frac{15,60}{5,60} = 2,78.$$

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'air étant de $13^{mm},5$, la diffusion de l'air seul sera exprimée par $15,6 - 13,5 = 2^{mm},1$, et par suite le rapport des durées d'écoulement d'un même volume pour l'air et l'acide carbonique sera

$$\frac{D_{air}}{D_{CO^2}} = \frac{15,6}{2,1} = 7,40.$$

Expérience n° 7.

Cuticule de Houx. — 17 *mai.*

a) *Hydrogène et acide carbonique.* — L'hydrogène est renfermé dans le tube manométrique avec une solution de potasse caustique :

T = 14° H au début 757,50, à la fin 757,35

$$\begin{array}{ll} 7^h35 \left\{ \begin{array}{l} (204,22) \\ 198,30 \end{array} \right. & \\ 7^h40 \quad 197,20 & \left. \right\} 13,2 \\ 9^h40 \quad 184,00 & \end{array}$$

La diffusion de l'hydrogène seul est exprimée par une dépression de $8^{mm},17$ par heure.

b) *Hydrogène et acide carbonique.* — L'acide carbonique est placé dans le tube manométrique.

T = 14° H au début 757,35, à la fin 757,50

$$\begin{array}{ll} 10^h00 \left\{ \begin{array}{l} (204,26) \\ 204,10 \end{array} \right. & \left. \right\} 14,90 \\ 10^h55 \quad 189,20 & \end{array}$$

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'hydrogène est exprimée par heure et en faveur de l'acide carbonique par 16mm,08.

La diffusion de l'acide carbonique seul sera 24mm,25, celle de l'hydrogène étant 8mm,17.

$$\frac{D_H}{D_{CO^2}} = \frac{24,25}{8,17} = 2,96.$$

Expérience n° 8.

Cuticule de Houx. — 4 centim. carrés de surface. — 20 mai.

a) *Hydrogène et acide carbonique.* — L'acide carbonique est placé dans le tube manométrique.

T = 13°5 H = 743,90

11h00	(201,00)	
	201,80	12,1
11h40	189,70	

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'hydrogène est exprimée par 18mm,15 par heure.

b) *Azote et acide carbonique.* — L'acide carbonique est placé dans le tube manométrique.

T = 15° H = 750,55

1h45	(203,00)	
	199,40	19,36
1h35	180,04	

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'azote est exprimée par 23mm,22.

c) *Acide carbonique et hydrogène.* — L'hydrogène est placé dans le tube manométrique avec une solution de potasse caustique.

T = 15° H au début 751, à la fin 751,20

3h10	204,00	
	198,80	7,34
4h10	190,44	

La diffusion de l'hydrogène seul est exprimée par 7,36.

D'après les résultats qui précèdent, la diffusion de l'acide carbonique sera : 25,51 ; celle de l'azote sera : 2,19, et l'on aura :

$$\frac{D_H}{D_{CO^2}} = 3,3 \qquad \text{et} \qquad \frac{D_{Az}}{D_{CO^2}} = 11,6$$

Expérience n° 9.

Cuticule de Houx. — 21 *mai.*

a) *Oxygène et acide carbonique.* — L'acide carbonique est placé dans le tube manométrique.

$$T = 13^{\circ} \qquad H = 754$$

1^h45	(202,00)	
	198,70	14,00
2^h15	184,70	

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'oxygène est exprimée par 28 mm par heure.

b) *Hydrogène et acide carbonique.* — L'acide carbonique est placé dans le tube manométrique.

$T = 13^{\circ}$ H au début 752,05, à la fin 752,25

5^h00	(203,50)	
	201,70	11,30
5^h30	190,40	

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'hydrogène est exprimée par une dépression de $22^{mm},10$ par heure.

c) *Hydrogène et acide carbonique.* — L'hydrogène est placé dans le tube manométrique avec la potasse caustique.

$T = 13^{\circ}$ H = 752 751,80

5^h50	(203,00)	
	202,68	5,98
6^h20	196,70	

La diffusion de l'hydrogène seul est exprimée par une dépression de $12^{mm},36$.

La diffusion de l'acide carbonique sera $34^{mm},46$, celle de l'oxygène sera $6^{mm},46$; par suite :

$$\frac{D_H}{D_{CO^2}} = 2,78$$

$$\frac{D_O}{D_{CO^2}} = 5,64$$

Expérience n° 10.

Cuticule de Houx. 4 centim. carrés. — 10 juin 1887.

a) *Hydrogène et acide carbonique.* — L'acide est renfermé dans le tube manométrique.

$T = 21°5 \qquad H = 766,65$

11^h00	(204,00)	
	201,70	7,76
11^h30	193,94	

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'hydrogène est exprimée par $15^{mm},52$.

b) *Hydrogène et acide carbonique.* — L'hydrogène est renfermé dans le tube manométrique avec une solution de potasse caustique.

$H = 766,65 \qquad T = 21°5$

11^h50	(203,00)
	202,00
1^h15	188,50

La diffusion de l'hydrogène seul est exprimée par une dépression de $9^{mm},52$ par heure.

La diffusion de l'acide carbonique sera $25^{mm},03$; l'on a par suite :

$$\frac{D_H}{D_{co^2}} = 2,62$$

Expérience n° 10 *bis*.

Cuticule de Houx. — *12 juin.*

a) *Oxygène et acide carbonique.* — Ce dernier dans le tube manométrique.

$T = 15° \qquad H = 753,40$ et $753,15$

11^h	198,50	
	198,10	18,02
1^h	180,08	

La différence entre l'oxygène et l'acide carbonique est $9^{mm},13$.

b) *Oxygène et acide carbonique.* — O dans le tube manométrique avec la potasse.

2^h	(199,50)	
	194,00	4,5
4^h	189,50	

La diffusion de l'oxygène est exprimée par 2 mm.
La diffusion de l'acide carbonique égale 9,13 + 3 = 11^{mm},13.

$$\frac{Do}{Dco^2} = \frac{11,13}{2} = 5,56$$

La série des expériences suivantes est destinée à comparer la diffusion relative de divers gaz, en admettant connue la vitesse de l'un d'eux, déduite des chiffres qui précèdent.

Expérience n° 11.

Cuticule de Houx. — 14 *juin.*

a) *Azote et acide carbonique.* — L'acide carbonique est placé dans le tube manométrique.

T = 21°5 H = 764,65

2^{h}25	(205,00)	
	204,30	13,84
2^{h}55	190,46	

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'azote est exprimée par une dépression de 27^{mm},80 par heure.

b) *Hydrogène et acide carbonique.* — L'acide carbonique est renfermé dans le tube manométrique.

H = 764,65 T = 23°5

6^{h}30	(204,00)	
	203,70	12,84
7^{h}10	190,86	

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'hydrogène est exprimée par 19^{mm},26 par heure.

Si l'on admet que la vitesse de diffusion de l'hydrogène est 2,75 fois moindre que celle de l'acide carbonique, la diffusion de ce dernier gaz seul sera dans l'expérience précédente 30^{mm},25, celle de l'azote seul sera 2^{mm},45, d'où

$$\frac{D_{A_2}}{Cco^2} = 12,30$$

Expérience n° 12.

Cuticule de Houx. — 17 *juin.*

a) *Oxygène et acide carbonique.* — L'acide carbonique est renfermé dans le tube manométrique.

H = 768,10 et 767,80   T = 21°

1^h30 (203,00) / 200,20

2^h00 182,74

200,20 − 182,74 = 17,46

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'oxygène est exprimée par $35^{mm},52$ par heure.

b) *Hydrogène et acide carbonique.* — L'acide carbonique est renfermé dans le tube manométrique.

H = 766,30   T = 20°

6^h15 (201,00) / 201,30

6^h45 187,50

201,30 − 187,50 = 13,8

La différence de diffusion entre l'acide carbonique et l'hydrogène sera exprimée par $27^{mm},60$ par heure.

Si l'on admet que $\frac{D_H}{D_{CO^2}} = 2,75$, on aura pour la diffusion de l'acide carbonique $43^{mm},37$, pour celle de l'oxygène $7^{mm},85$.
d'où

$$\frac{D_O}{D_{CO^2}} = 5,52.$$

2e *méthode.* — Les résultats qui précèdent ont été contrôlés par une seconde méthode, celle qui a été employée pour montrer que la quantité de gaz diffusant à travers une membrane est proportionnelle à la différence des pressions.

En effet, si l'on examine les courbes construites à l'aide des tableaux d'expérience, on constate en comparant les courbes de diffusion de l'hydrogène et de l'oxygène construites à la même échelle, que les ordonnées de ces courbes sont exactement pour les deux gaz dans le rapport de 2 à 1, c'est-à-dire que la vitesse de diffusion de l'hydrogène est deux fois plus grande que celle de l'oxygène.

Conclusions. — Il résulte des chiffres qui précèdent que la vitesse de diffusion des gaz est très variable et possède, pour la cuticule des diverses plantes des valeurs comparables à celles que M. Graham a fait connaître pour le caoutchouc.

Si l'on exprime par *1* la durée de l'écoulement d'un volume déterminé d'acide carbonique, la durée d'écoulement des divers gaz sera exprimée par le tableau suivant :

Acide carbonique.	1
Hydrogène	2,75
Oxygène	5,50
Azote	11,50

IV. — Influence de la température sur la vitesse de diffusion des gaz.

On sait que chez les végétaux, l'intensité des échanges gazeux augmente rapidement, toutes choses égales d'ailleurs, à mesure que la température s'élève. Si l'on admet que les gaz nécessaires à ces échanges pénètrent principalement par diffusion à travers la cuticule, la perméabilité de cette membrane devra croître aussi avec la température, à moins qu'elle ne possède une valeur déjà très grande pour les basses températures. On comprend ainsi tout l'intérêt de recherches destinées à faire connaître l'influence de la température sur la perméabilité des membranes.

Dans ces expériences on s'est borné à noter la dépression qui exprime la différence de diffusion entre les deux gaz qui sont placés de chaque côté de la membrane.

Expérience n° 13.

30 avril.

Cuticule de Houx traitée par l'eau bouillante.

Air et acide carbonique. — Ce dernier dans le tube manométrique.

TEMPÉRATURE.	DÉPRESSION PAR HEURE.
14°	13mm,22
20	13 ,20
14	12 ,48

Expérience n° 14.

12 mai.

Cuticule de Houx.

Hydrogène et acide carbonique.

TEMPÉRATURE.	DÉPRESSION PAR HEURE.
12°0	12^{mm},72
22 5	12 ,60

Expérience n° 15.

27 mai.

Potamogeton perfoliatus.

Hydrogène et acide carbonique. — Ce dernier dans le tube manométrique.

TEMPÉRATURE.	DÉPRESSION PAR HEURE.
13°0	21^{mm},22
18 5	25 ,80
24 5	24 ,50
30 0	24 ,24
13 0	21 ,30

Ces nombres montrent *que la perméabilité des membranes reste sensiblement constante quand la température change.*

Par suite, si cette perméabilité doit seule assurer le renouvellement des gaz nécessaires aux phénomènes de nutrition, il faut que sa valeur soit très considérable.

V. — Variations de la perméabilité chez les différentes feuilles.

Dans toutes les expériences destinées à faire connaître la valeur absolue de la perméabilité de l'épiderme des feuilles on s'est borné à mesurer la différence de diffusibilité entre l'acide carbonique et l'hydrogène, parce que ces deux gaz sont faciles à préparer à l'état de pureté rapidement et en quantité assez considérable. Il sera facile ensuite, à l'aide des résultats publiés plus haut, de calculer le coefficient de perméabilité pour chacun des autres gaz.

Nous nous bornerons à citer une seule expérience pour montrer la marche suivie.

Houx.

25 février 1888.

a) *Cuticule isolée par macération à basse température, surface de 4 centim. carrés, face supérieure.*

T = 4°5 H = 753,30

25 février	1^h00	(154,00)	
		151,24	4,64
26 —	9^h30	146,50	

Moyenne $0^{mm},25$ par heure.

b) *Cuticule de la même feuille, face inférieure, surface de 4 centimètres carrés.*

T = 4° H au début $753^{mm},35$; à la fin $758^{mm},30$

26 février.	10^h30	(154,00)	
		153,76	14,96
27 —	10^h30	138,80	

Moyenne $0^{mm},41$ par heure.

A l'aide de ces deux résultats nous pouvons calculer la quantité de gaz qui diffuse à travers la membrane par centimètre carré de surface.

Indiquons le calcul pour la face supérieure. Le nombre $0^{mm},25$, indiqué plus haut, représente la différence des dépressions de l'acide carbonique d_{co_2} et de l'hydrogène d_{H}; comme les dépressions sont proportionnelles aux vitesses de diffusion trouvées pour les différents gaz, la dépression manométrique produite par l'acide carbonique seul sera facile à trouver :

$$d_{co_2} - d_H = 0,25$$

puisque

$$\frac{d_{co_2}}{d_H} = \frac{V_{co^2}}{V_H} = 2,75$$

on a

$$d_{co_2} - \frac{d_{co_2}}{2,75} = 0,25,$$

d'où

$$d_{co_2} = 0^{mm},39.$$

Si la diffusion de l'acide carbonique seul provoque une dépres-

sion de $0^{mm},39$ par heure, la quantité d'acide carbonique disparu est les $\frac{0,39}{753,30}$ de la capacité du manchon, c'est-à-dire

$$\frac{0,39}{753,20} \times 42^{cm3} \text{ ou } 21^{mm3},747$$

Nota. — Dans cette expérience la capacité du manchon A, 50 centimètres cubes, a été diminuée par l'introduction de deux baguettes de verre d'un volume égal à 8 centimètres cubes.

La quantité d'acide carbonique diffusant à la pression atmosphérique, à travers la membrane cutinisée, est $21^{mm3},747$, ce qui fait par centimètre carré $5^{mm3},43$.

On trouverait de la même manière que la quantité d'acide carbonique qui peut traverser, par centimètre carré et par heure, la cuticule de la face inférieure du Houx est de $8^{mm3},91$.

J'ai calculé ainsi la perméabilité d'un certain nombre de surfaces cutinisées. Sans reproduire tout au long les expériences faites à ce sujet, toutes calquées sur celle que je viens de rapporter, je me bornerai à résumer dans le tableau suivant les principaux résultats que j'ai obtenus[1].

ESPÈCES.		DIFFÉRENCE de perméabilité entre H et Co^2 en dépression du manomètre.	DÉPRESSION du manomètre pour Co^2 seul.	QUANTITÉS d'acide carbonique diffusant par heure et par centim. carré de surface.
Houx	FS.	$0^{mm},25$	$0^{mm},39$	$0^{cm3},005$
	FI.	0 ,41	0 ,64	0 ,009
Lierre	FS.	1 ,67	2 ,62	0 ,072
	FI.	1 ,10	1 ,72	0 ,056
Fusain du Japon	FS.	1 ,30	2 ,04	0 ,067
	FI.	3 ,73	5 ,85	0 ,192
Bupleurum fruticosum	FS.	3 ,30	5 ,18	0 ,170
	FI.	4 ,90	7 ,69	0 ,253
Troëne	FS.	1 ,60	2 ,50	0 ,082
	FI.	2 ,10	3 ,27	0 ,107

1. Dans ce tableau, les surfaces examinées, à l'exception de celles du Houx, de l'Aloès, avaient 2^{cmq} de surface. La perméabilité de la cuticule de l'Aloès a été mesurée avec l'air et l'acide carbonique. La capacité du manchon était de 50^{cm3} pour toutes les espèces, sauf : Houx, Lierre, Lilium, où elle était réduite à 42^{cm3}.

ESPÈCES.		DIFFÉRENCE de perméabilité entre H et Co^2 en dépression du manomètre.	DÉPRESSION du manomètre pour Co^2 seul.	QUANTITÉS d'acide carbonique diffusant par heure et par centim. carré de surface.
Rhamnus Alaternus	FS.	0 ,60	0 ,93	0 ,021
Poirier	FS.	1 ,02	1 ,60	0 ,052
	FI.	5 ,21	8 ,18	0 ,269
Pommier	FS.	1 ,02	1 ,60	0 ,053
	FI.	6 ,20	9 ,73	0 ,305
Hêtre	FS	2 ,45	3 ,84	0 ,126
Iris Germanica		0 ,80	1 ,25	0 ,041
Lilium candidum		0 ,77	1 ,21	0 ,041
Cactus		0 ,95	1 ,40	0 ,046
Aloès		»	0 ,46	0 ,095
Sagittaire, feuille submergée		87 ,04	136 ,60	2 ,241
Potamogeton perfoliatus, id.		47 ,80	75 ,04	1 ,234
— *lucens*, id.		11 ,50	18 ,00	0 ,592

VI. — Influence de la matière cireuse sur la perméabilité des membranes.

La cutine qui revêt les surfaces épidermiques est, comme on le sait depuis les recherches de de Bary[1], recouverte de matière cireuse.

Cette substance se rencontre à deux états : ordinairement répandue à l'état d'imprégnation dans la couche de cutine, elle forme souvent, en outre, à la surface des feuilles, une sorte d'efflorescence amorphe ou en bâtonnets ; dans ce dernier cas elle constitue cette poussière qui donne à la feuille une couleur d'un vert glauque comme on le voit dans les feuilles d'Iris. Cette substance dont la composition est encore mal définie, se dissout facilement dans l'eau bouillante, l'alcool bouillant, les alcalis étendus.

Pour montrer l'influence de la matière cireuse sur la perméabilité des surfaces cutinisées, on partage en deux moitiés, un lambeau de cutine isolé par la macération à 10° ou 15° ; la première est direc-

1. De Bary, *Ueber die Wachsüberzüge der Epidermis* (*Bot. Zeit.*, p. 128, 605, 1871). — *Vergleichende Anatomie*, 1877.

tement placée dans l'appareil dialyseur des gaz, la seconde est traitée par l'alcool, la benzine bouillants et lavée ensuite à l'alcool et à l'eau distillée. On mesure ensuite sa perméabilité de la même façon qu'avec une cuticule normale.

Le tableau suivant résume les différences qui existent au point de vue de la perméabilité entre les surfaces cutinisées normales et les mêmes surfaces dépouillées de la matière cireuse.

Dépression manométrique exprimant la différence de perméabilité entre l'acide carbonique et l'hydrogène.

		SURFACE.	CUTICULE normale.	CUTICULE traitée par l'alcool et l'eau bouillante.
		Cent. carrés.		
Houx	FS	4	$0^{mm},25$	$22^{mm},92$
	FI.	4	0 ,41	33 ,88
Fusain	FS	2	1 ,70	14 ,10
Lierre	FS	2	1 ,50	11 ,79
Bupleurum	FS	2	3 ,30	29 ,79
Poirier	FS.	2	1 ,02	10 ,95
	FI.	2	5 ,21	16 ,55
Pommier	FI.	2	6 ,56	30 ,28
Iris		2	0 ,80	3 ,92
Cactus. Cuticule de la tige		2	0 ,98	5 ,02
Sagittaire, feuille submergée		2	43 ,52	77 ,70
Potamogeton lucens, id.		2	20 ,30	39 ,36
— *perfoliatus*, id.		2	23 ,90	35 ,38

Ces chiffres montrent que *la matière cireuse revêt la cutine de l'épiderme aussi bien chez les plantes à feuilles submergées où son existence n'était pas encore connue jusqu'ici, que chez les plantes aériennes. La disparition de cette substance augmente considérablement la perméabilité des membranes.*

L'influence très grande que le revêtement cireux exerce sur la diffusibilité des gaz pourrait jeter quelques doutes sur l'exactitude des résultats publiés plus haut, concernant la valeur absolue de la perméabilité des membranes cutinisées.

En effet, si la matière cireuse est soluble dans l'eau bouillante, on peut se demander si le traitement que doivent subir les surfaces cutinisées, qui ont servi dans le cours de ces recherches, n'a pas

altéré faiblement la matière cireuse? Dans ces conditions, on trouverait, pour le coefficient de diffusion, des valeurs trop fortes et assez variables.

C'est en effet ce qui arrive. Je citerai comme exemple, des feuilles de Houx dont la cuticule a été isolée à diverses températures et soumise à des traitements différents.

	DIFFÉRENCE de perméabilité entre l'air et l'acide carbonique pour des surfaces égales.
a. — Cuticule extraite par macération à 35°	$2^{mm},96$
b. — Cuticule traitée par l'eau chaude, à peine bouillante	9 ,66
c. — Cuticule traitée par l'alcool et l'eau bouillante	26 ,60
d. — Cuticule épuisée par la benzine, l'alcool et l'eau bouillante	37 ,60

Ces chiffres montrent combien le traitement peut modifier la perméabilité des membranes, ils expliquent les nombreux résultats divergents que j'ai obtenus au début de mes recherches sur cette question.

Il est facile néanmoins de réduire cette cause d'erreur à sa plus petite valeur possible, en opérant la macération des feuilles à une température qui ne dépasse pas 15°, comme je l'ai indiqué plus haut.

La dissociation des tissus est bien plus lente, il est vrai, mais le séjour prolongé des tissus dans l'eau à cette température n'altère pas sensiblement la perméabilité de la membrane.

Je puis citer à titre de contrôle l'expérience suivante :

Poirier.	Feuille vivante, face supérieure	$0^{mm},90$
	Épiderme de la face supérieure isolé par macération à 15°	1 ,02

Il est important aussi de veiller à ce que la surface cutinisée ne soit pas chauffée quand on la scelle entre les deux plaques de mica; enfin on doit placer l'enduit de gélatine glycérinée à la face interne de la membrane dépourvue de matière cireuse, et au moment où ce liquide va se solidifier.

Dans ces conditions l'erreur due à une altération du revêtement cireux est réduite au minimum, et le coefficient de diffusion parti-

culier à chaque feuille ne dépasse la valeur réelle que d'un dixième et le plus ordinairement d'un vingtième.

On verra d'ailleurs plus loin un contrôle remarquable de ces diverses expériences.

DEUXIÈME PARTIE

INFLUENCE DE L'OCCLUSION DES STOMATES SUR L'INTENSITÉ DES ÉCHANGES GAZEUX

Au début de ces recherches, avant de songer à mesurer la perméabilité des membranes pour les gaz, j'ai d'abord essayé de constater l'influence que peut exercer l'occlusion des stomates sur l'intensité des échanges gazeux normaux et j'ai eu à surmonter quelques difficultés dans le choix d'un enduit assurant la fermeture des stomates.

J'ai dû rejeter l'empois d'amidon et le suif qui avaient servi à Boussingault; le premier enduit, homogène au moment où l'on vient de l'appliquer, se partage bientôt en grumeaux séparés par des couches de liquide incolore ou presque incolore. Le second, appliqué à l'état liquide, au pinceau, n'adhère pas à la surface de la feuille parce qu'il reste toujours une mince lame d'air ; par le refroidissement, il se contracte et peut se fendiller, laissant ainsi échapper les gaz.

J'ai eu recours à la vaseline qui, en raison de sa faible consistance, peut être appliquée sur les feuilles à la température ordinaire et adhère parfaitement ; de plus, comme cette substance est très peu altérable, son introduction dans une atmosphère confinée n'introduit aucune cause d'erreur.

I. — Influence de l'occlusion des stomates sur le phénomène respiratoire.

Le procédé opératoire est des plus simples. On choisit deux feuilles aussi identiques que possible ; l'une est enduite de vaseline à la face supérieure, l'autre à la face inférieure ; comme les espèces

employées sont celles dans lesquelles les stomates sont localisés à la face inférieure, on a ainsi bouché les stomates de l'une des feuilles. Ces feuilles sont placées dans de petites éprouvettes renversées sur le mercure et contenant un volume connu d'air.

Au bout d'un certain temps de séjour des feuilles à l'obscurité, on analyse l'atmosphère entourant les feuilles et on calcule les proportions de gaz absorbés ou dégagés.

ESPÈCES.	DURÉE.		FEUILLE couverte de vaseline.	
			Face inférieure.	Face supérieure.
—	—		P. 100.	P. 100.
Laurier-rose		CO^2 dégagé.	5.95	7.53
		O absorbé.	3.86	8.15
—	28h	CO^2 dégagé.	8.11	8.34
		O absorbé.	7.06	9.25
—	26h	CO^2 dégagé.	2.82	4.03
		O absorbé.	3.87	5.04
Lierre	24h	CO^2 dégagé.	7.09	10.40
		O absorbé.	8.08	11.42
—	11h	CO^2 dégagé.	3.21	3.71
		O absorbé.	4.25	5.12
Rhamnus Alaternus	68h	CO^2 dégagé.	6.72	10.09
		O absorbé.	7.72	11.40
Fusain du Japon		CO^2 dégagé.	3.79	5.94
		O absorbé.	4.67	7.68
Bupleurum fruticosum	23h	CO^2 dégagé.	4.45	4.10
		O absorbé.	3.93	5.20
— — 19 et 20 déc. 1886	27h	CO^2 dégagé	5.48	6.39
		O absorbé.	5.31	7.25
— — 21 et 22 déc. 1886	22h15	CO^2 dégagé.	3.29	3.51
		O absorbé.	2.43	4.14
Houx, 30 décembre et 2 janvier 1887	77h	CO^2 dégagé.	1.80	1.86
		O absorbé.	3.01	2.87
Houx	48h	CO^2 dégagé.	3.52	3.38
		O absorbé.	4.25	4.37

Tous ces résultats concordants nous montrent que l'occlusion des stomates par la vaseline détermine toujours un affaiblissement dans la quantité d'oxygène absorbé ; très souvent aussi l'acide carbonique produit est en moindre quantité pour les feuilles à stomates bouchés que pour les feuilles à stomates libres.

Avant de discuter et d'expliquer ces résultats, nous devons signa-

ler une objection qui pourrait jeter quelques doutes sur leur signification. On ne connaît pas la perméabilité de la vaseline ; il paraît probable que, si cette substance est perméable aux gaz, sa perméabilité est très faible eu égard à l'épaisseur de la couche dont les feuilles étaient revêtues, qui dépassait souvent un millimètre.

Il en résulte que l'emploi de la vaseline détermine non seulement l'obturation des stomates, mais supprime ou atténue la perméabilité des membranes sur lesquelles elle est déposée. Les résultats qui précèdent pourraient s'expliquer seulement par une différence de perméabilité des deux faces de la feuille comme on l'a vu dans la première partie de ce mémoire.

Pour écarter cette objection, j'ai employé comme enduit la gélatine glycérinée à 10 p. 100 ; elle a l'avantage d'adhérer parfaitement aux surfaces, elle est transparente, et ne modifie en aucune façon la perméabilité des membranes sur lesquelles elle est appliquée, ainsi que je l'ai montré dans la première partie de ce mémoire. (V. page 364.)

J'ai opéré avec ce nouvel enduit de la même manière qu'avec la vaseline et j'ai obtenu les mêmes résultats.

ESPÈCES.	DURÉE.		FEUILLE gélatinée à la face inférieure.	FEUILLE normale.
			P. 100.	P. 100.
Fusain, 25 mars 1887	18^h30	CO^2 dégagé	4.35	5.58
		O absorbé	5.27	6.67
Poirier, 24-25 juin 1887	17^h	CO^2 dégagé	7.97	13.86
		O absorbé	10.10	17.53
Pommier	24^h	CO^2 dégagé	4.95	12.86
		O absorbé	6.61	21.80
—	16^h	CO^2 dégagé	6.45	8.12
		O absorbé	8.39	10.66
Fusain du Japon, feuille âgée	2^h	CO^2 dégagé	1.29	1.35
		O absorbé	1.34	2.29

ESPÈCES.	DURÉE.		FEUILLE gélatinée sur ses deux faces.	FEUILLE normale.
			P. 100.	P. 100.
Iris germanica, 21 avril	26^h	CO^2 dégagé	4.58	5.51
		O absorbé	6.10	7.95

On le voit, l'occlusion des stomates affaiblit la quantité d'oxygène absorbée, et diminue souvent aussi la proportion d'acide carbonique exhalé.

L'affaiblissement du phénomène respiratoire provoqué par l'occlusion seule des stomates rend indispensable la présence de ces orifices à la surface des feuilles aériennes.

Mais il y a des différences importantes à signaler entre les diverses plantes.

Quelques espèces dont la respiration est peu active, surtout à basse température, comme le Houx, le Fusain, le Lierre, n'offrent que de faibles différences dans l'intensité des échanges gazeux des feuilles comparées. Cela tient à ce que pour ces espèces, surtout quand la température est basse, la perméabilité des membranes suffit à peu près au renouvellement des gaz nécessaires à la respiration; mais si la température s'élève, cette perméabilité demeurant constante comme on l'a vu dans la première partie de ces recherches, l'occlusion des stomates manifeste rapidement son influence par une notable diminution des échanges gazeux.

Il faut remarquer aussi que l'affaiblissement des échanges gazeux porte toujours sur la quantité d'oxygène absorbé, sans influencer notablement, dans certains cas (Laurier-rose, *Bupleurum,* etc.), la proportion d'acide carbonique exhalé.

Ce résultat s'explique aisément par les conditions diverses qui président à la diffusion des gaz dans une feuille à stomates bouchés.

En effet, nous avons vu que la vitesse de diffusion de l'oxygène est 5 fois et demie plus faible que celle de l'acide carbonique ; de plus, la différence des pressions sous l'influence de laquelle ce gaz diffuse est au maximum d'un cinquième d'atmosphère; l'oxygène ne peut donc diffuser que lentement dans les feuilles. L'acide carbonique au contraire diffusant 5 fois et demie plus vite que l'oxygène, il suffirait que la différence des pressions exercées par l'acide carbonique entre les tissus et l'extérieur fût 1/25e d'atmosphère pour que l'écoulement de ce gaz se produisît aussi vite que la pénétration de l'oxygène. Or cette différence est certainement un minimum, d'après ce que l'on sait sur la richesse de l'atmosphère des lacunes en acide carbonique.

Par suite, dans une feuille à stomates bouchés, l'acide carbonique s'échappe toujours facilement par la diffusion seule, tandis que l'oxygène ne pénètre pas en quantité suffisante pour entretenir la respiration normale. Certaines feuilles subissent alors un commencement d'asphyxie et, lorsqu'elles possèdent des réserves amylacées ou sucrées, elles les décomposent en dégageant de l'acide carbonique. Dans ces conditions, les feuilles à stomates bouchés exhalent un volume d'acide carbonique égal et souvent supérieur au volume d'oxygène absorbé et le rapport $\frac{Co^2}{O}$ des gaz échangés prend une valeur plus grande que pour les feuilles à stomates libres, ainsi qu'on peut s'en assurer en consultant les tableaux qui précèdent, pour le *Bupleurum,* le Laurier-rose.

II. — Influence de l'occlusion des stomates sur le phénomène chlorophyllien.

On peut prévoir, d'après les résultats qui précèdent, que l'occlusion des stomates provoquera un affaiblissement notable des échanges gazeux qui caractérisent la fonction chlorophyllienne. Je n'aurais pas rapporté les diverses expériences réalisées à ce sujet, si je n'avais cru utile de montrer que les conclusions de Boussingault relatives au rôle des stomates sont fondées sur des expériences non comparables entre elles.

Le dispositif employé est toujours le même. Deux feuilles, aussi identiques que possible, sont enduites de gélatine, l'une à la face supérieure, l'autre à la face inférieure; on place chacune d'elles dans une éprouvette contenant, avec l'air normal, une proportion connue d'acide carbonique. Ces éprouvettes sont ensuite exposées au soleil de manière que les feuilles soient éclairées de la même façon par la face supérieure; après une exposition plus ou moins longue, on analyse l'atmosphère entourant les feuilles.

Ces expériences ont été réalisées aux mois de novembre et de décembre 1887 à une température qui n'a pas dépassé 10°.

ESPÈCES.	DURÉE.		FEUILLE gélatinée, face inférieure.	FEUILLE normale.
—	—		—	—
			P. 100.	P. 100.
Fusain du Japon	3/4 h.	CO^2 absorbé.	1.15	2.99
		O dégagé . .	1.37	3.43
—	2h	CO^2 absorbé.	3.28	6.66
		O dégagé . .	3.20	8.04
—	2h	CO^2 absorbé.	0.60	4.41
		O dégagé . .	0.59	4.41
Scolopendre.	5h15 Ciel nuageux	CO^2 absorbé.	1.76	2.14
		O dégagé . .	1.84	2.01
Bupleurum fruticosum. . .	2h45	CO^2 absorbé.	4.91	7.83
		O dégagé . .	5.07	9.43
— — . . .	1h	CO^2 absorbé.	2.03	5.24
		O dégagé . .	2.18	5.49
— — . . .	2h	CO^2 absorbé.	2.00	5.65
		O dégagé . .	1.95	5.46
— — . . .	0h30	CO^2 absorbé.	2.74	5.11
		O dégagé . .	2.52	5.18
Rhamnus Alaternus	2h15	CO^2 absorbé.	1.69	7.52
		O dégagé . .	1.77	7.91
Quercus ilex.	1h	CO^2 absorbé.	5.34	6.67
		O dégagé . .	5.86	7.22
Ligustrum vulgare	1h30	CO^2 absorbé.	1.92	6.26
		O dégagé . .	1.92	6.51

On voit que, sauf pour le *Quercus ilex* et la Scolopendre, l'affaiblissement dans l'intensité de l'échange gazeux chlorophyllien, provoqué par l'occlusion des stomates, est plus considérable que pour le phénomène respiratoire. Les feuilles gélatinées consomment la moitié, le tiers, parfois même le cinquième des gaz absorbés par les feuilles normales.

Il faut remarquer que l'affaiblissement porte également et dans la même proportion sur l'oxygène dégagé et l'acide carbonique exhalé.

Cela tient à ce que les conditions de la diffusion de ces deux gaz à travers les membranes d'une feuille à stomates bouchés sont ici l'inverse de ce qu'elles étaient dans le phénomène respiratoire. En effet, la différence des pressions qui détermine l'entrée de l'acide carbonique est au maximum égale au quinzième ou au vingtième d'atmosphère, tandis que l'oxygène mis en liberté dans les lacunes,

n'étant absorbé par les feuilles qu'en proportion très faible, diffuse sous une pression 5 et 10 fois plus forte et suffisante pour compenser la différence des vitesses de diffusion.

L'occlusion des stomates affaiblit le phénomène chlorophyllien parce qu'elle apporte un obstacle à l'entrée de l'acide carbonique. Si l'on suppose une plante dans l'air normal qui contient seulement $\frac{3}{10000}$ d'acide carbonique, on voit que dans ces conditions la totalité du gaz décomposé par les feuilles devra passer par les stomates, puisque la cuticule ne le laissera passer que sous une différence de pression égale aux $\frac{3}{10000}$ de la pression atmosphérique, c'est-à-dire en quantité négligeable, étant donnée la valeur de la perméabilité à la pression de 760 millimètres. (Voy. p. 376.)

Comparaison de la perméabilité des membranes et des échanges gazeux normaux.

Les expériences qui viennent d'être rapportées ayant montré la perturbation produite dans les échanges gazeux par l'occlusion mécanique des stomates, il nous reste à établir, comme moyen de contrôle entre les deux séries de recherches exposées dans ce mémoire, que la quantité de gaz qui pénètrent par diffusion à travers les surfaces, est inférieure à celle que les organes doivent consommer dans la respiration ou l'action chlorophyllienne.

Je signalerai à ce titre les expériences suivantes.

Iris Germanica.

a) Un fragment de feuille pesant $0^{gr},820$, à l'état normal, est placé dans 27 centimètres cubes d'air; sa surface est de 42 centimètres carrés.

				p. 100.
Obscurité. .	21 avril 1887. .	9^h45	Co^2 dégagé. . .	10.74
	23 — . .	11^h15	O absorbé . . .	15.26

b) Un fragment de feuille pesant $1^{gr},138$, gélatinée sur ses deux faces, est placé dans 30 centimètres cubes d'air ; sa surface totale est de $44^{cmq},40$.

				p. 100.
Obscurité. .	21 avril	9^h45	Co^2 dégagé. . .	7.60
	23 —	11^h15	O absorbé . . .	9.81

La feuille *a* a dégagé 2cm³,90 d'acide carbonique et absorbé 4cm³12 d'oxygène pour une surface de 42 centimètres carrés pendant 49 heures et demie.

La feuille *b*, à stomates bouchés, a dégagé 2cm³,32 d'acide carbonique et absorbé 2cm³,93 d'oxygène pour une surface de 44cmq,40.

Ainsi, tandis que la feuille à stomates libres a dû consommer par heure, pour une surface de 42 centimètres carrés, 0cm³,098 d'oxygène, la feuille à stomates bouchés n'a pu recevoir par diffusion à travers les membranes que 0cm³,059 d'oxygène pour une surface de 44cmq, 4.

Or si l'on prend dans le tableau des coefficients de perméabilité des diverses feuilles, celui de l'Iris, et que l'on calcule la quantité d'oxygène qui peut passer par la même surface foliaire et par heure, on trouve 0cm³,065.

Il n'est pas nécessaire de calculer le volume de l'acide carbonique, puisque, ainsi que nous l'avons vu, ce gaz sort librement sans éprouver d'obstacles par l'occlusion des stomates.

Citons encore un autre exemple.

Fusain du Japon.

a) 2 feuilles pesant 0gr,760, gélatinées à la face inférieure, sont placées dans 18cm³,750 d'air renfermant 6.50 p. 100 d'acide carbonique et exposées à la lumière pendant 2 heures.

Co^2 absorbé	3.28
O dégagé	3.20

b) Deux feuilles pesant 0gr,740, normales, sont placées dans 19cm³,5 d'air renfermant 6.76 p. 100 d'acide carbonique et exposées à la lumière pendant 2 heures.

Co^2 absorbé	6.66
O dégagé	8.04

La surface des deux feuilles étant de 46 centimètres carrés, on trouve que la feuille à stomates libres a consommé par heure 0cm³,624 d'acide carbonique, tandis que la feuille à stomates bouchés n'a pu recevoir que 0cm³,3075 du même gaz par diffusion à

travers les membranes. Or cette dernière quantité est peu différente de celle que l'on calcule d'après le coefficient de perméabilité moyen de la feuille de Fusain et qui est égal à $0^{cm^3},299$.

Des résultats analogues ont été obtenus avec le *Bupleurum,* le Troëne, etc.

Ces expériences de contrôle ont une grande importance, car elles montrent que les valeurs que j'ai données pour les coefficients de perméabilité de diverses espèces sont très voisines des valeurs réelles et elles prouvent d'une façon indiscutable l'importance des stomates dans les échanges gazeux des plantes aériennes.

CONCLUSIONS

Nous résumerons sous forme de conclusions et de la manière suivante les résultats des recherches consignées dans ce mémoire :

1° La diffusion des gaz à travers les surfaces cutinisées est indépendantes des variations de température oscillant dans les limites de la végétation ;

2° La diffusion est, pour chaque gaz, proportionnelle à la différence des pressions que ce gaz exerce sur les deux faces de la membrane.

3° La vitesse de diffusion est variable pour les différents gaz et les nombres trouvés ne diffèrent pas sensiblement de ceux que M. Graham a donnés pour le caoutchouc.

4° Si l'on compare les coefficients de perméabilité de diverses espèces, c'est-à-dire la quantité d'acide carbonique qui diffuse par heure et par centimètre carré de surface, on trouve que :

a) Le coefficient de perméabilité est notablement plus grand pour les feuilles submergées que pour les feuilles aériennes ;

b) La perméabilité des deux faces des feuilles dissemblables est inégale, elle est ordinairement plus forte pour la face inférieure que pour la face supérieure ;

c) La valeur de cette perméabilité ne dépend pas de l'épaisseur de la cuticule, elle dépend surtout des matières cireuses qui imprègnent cette substance, et ces matières se rencontrent chez toutes les feuilles, aussi bien chez les feuilles submergées que chez les feuilles aériennes ;

d) La durée de la vie des feuilles influe sur la perméabilité, les feuilles tombantes étant souvent plus perméables que les feuilles pérennes ; mais ce facteur n'est pas le seul qui intervient, il semble que le nombre ou la grandeur des stomates augmentent, toutes choses égales d'ailleurs, à mesure que diminue la perméabilité.

5° L'occlusion des stomates par un enduit qui conserve intacte la perméabilité des membranes diminue les échanges gazeux respiratoires dans une proportion qui peut varier du cinquième à la moitié ; cette diminution, faible pour les feuilles dont la respiration est peu active (feuilles âgées de Houx, de Lierre, de Fusain), peut devenir nulle quand la température est basse. Elle est au contraire considérable pour les feuilles jeunes ou les feuilles tombantes.

L'affaiblissement du phénomène respiratoire par l'occlusion des stomates est dû seulement à ce que l'oxygène n'arrive plus en quantité suffisante ; les feuilles éprouvent souvent un commencement d'asphyxie qui se traduit par l'exhalation d'acide carbonique.

6° L'occlusion des stomates affaiblit dans une très forte proportion l'échange gazeux chlorophyllien, la diminution peut aller jusqu'aux deux tiers, elle est souvent égale à la moitié.

Cette diminution est due à ce que l'acide carbonique ne peut plus pénétrer que lentement, par diffusion, dans les tissus de la feuille.

7° La valeur du coefficient de perméabilité des membranes est ordinairement, sauf pour la respiration à de basses températures, trop faible pour que la diffusion entretienne les échanges gazeux avec leur intensité normale ; les stomates sont donc indispensables à la circulation des gaz chez les plantes aériennes[1].

---

1. Ces recherches ont été réalisées au laboratoire des sciences naturelles du Lycée Louis-le-Grand.

SUR

LES QUALITÉS DES SEMENCES SCANDINAVES

ET SUR LES MESURES QUI, DANS CES DERNIÈRES ANNÉES

ONT ÉTÉ ADOPTÉES EN SUÈDE ET EN NORVÈGE

POUR AMÉLIORER

LA CULTURE ET L'EXPORTATION DES SEMENCES

DE CES DEUX PAYS

Par C.-G. ZETTERLUND

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE ET DE LA STATION D'ESSAIS DE SEMENCES DE L'ÉTAT A ÖREBRO (SUÈDE)
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DES SCIENCES DE NORVÈGE
MEMBRE HONORAIRE DE LA SOCIÉTÉ D'AGRICULTURE DU ROYAUME DE HONGRIE
CORRESPONDANT DE LA SOCIÉTÉ IMPÉRIALE-ROYALE D'AGRICULTURE DE VIENNE
CORRESPONDANT DE LA SOCIÉTÉ DES BRASSEURS DE LA BOHÊME

Il faut faire de la culture des terres la première affaire de l'État.
(*Ancien dicton romain.*)

La Scandinavie, de nos jours, ne comprend que les royaumes-unis de Suède et de Norvège, formant une assez vaste péninsule de 767 549,5 kilomètres carrés. Cette péninsule est située entre l'Océan Glacial, l'Océan Atlantique, la mer du Nord, le Skagerrac, le Kattégat, le Sund, la Baltique et le golfe de Bothnie.

Au nord-est la péninsule est jointe à la Finlande.

La Suède.

La Suède est située entre 55°20′18″ et 69°3′21″ de latitude nord. Sa superficie est évaluée à 442 126,5 kilomètres carrés.

Population. — Le nombre d'habitants s'élevait, à la fin de 1885, à 4 682 769 âmes, soit à peu près 10,5 personnes par kilomètre carré. Il y a de bien grandes différences en fait de densité dans les différentes parties du pays. Ainsi, tandis que la Norrbothnie n'a que 0,9 habitant par kilomètre carré, le Norrland et la Dalécarlie 3,2, la Suède moyenne (Svealand) 23,7 et la Gothie (Götaland), la partie méridionale, 30 âmes par kilomètre carré, la préfecture de Malmöhus en a 75 par kilomètre carré, presque la même densité que celle de la France.

Industrie agricole. — Parmi les industries de la Suède, *l'agriculture* est la principale. Cela est démontré par le recensement de la population en 1880 qui renseigne que plus de la moitié des habitants du pays, soit 2 343 000, trouvent leur subsistance dans l'agriculture.

Sur la population entière on comptait en chiffres ronds :

210 000 propriétaires fonciers,
41 800 fermiers et intendants ruraux,
95 000 petits propriétaires et colons,
74 000 corvéables et valets de ferme.

En y regardant de près, on trouvera que, quant au partage de la terre, elle revient principalement aux propriétés petites et moyennes. Les exploitations agricoles grandes de 2 à 20 hectares forment plus de 66 p. 100 de la terre labourée, celles au-dessous de 2 hectares plus de 23 p. 100, tandis que les propriétés de plus de 100 hectares ne s'élèvent pas même à 1 p. 100.

Cependant, une grande partie de la terre de la Suède est stérile, car de toute la superficie exploitée qu'on évalue à 40 675 564 hectares, il n'y a que 56.2 p. 100 de terre productive, et de celle-ci plus de 18 millions d'hectares — 44.2 p. 100 — sont des forêts. La terre emblavée et autre terre cultivée, les prairies et les jardins n'en occupent ensemble qu'un peu plus de 12 p. 100 : — les jardins occupant 0.1 p. 100 — 31 805 hectares, — la terre emblavée et autre terre cultivée 7.5 p. 100 — 3 079 809 hectares, — prairies 4.4 p. 100 — 1 802 445 hectares.

Par rapport au chiffre total des moissons, l'avoine occupe la première place. Dans les 4 années 1882-1885, la récolte moyenne de

l'avoine était 18414000 hectolitres. Le seigle occupe la seconde place par une récolte moyenne de 7202600 hectolitres, ensuite l'orge par 5214000, le méteil par 2186250, le blé par 1255650, enfin la pomme de terre par 16211250 hectolitres.

Depuis 1830 les récoltes ont montré un excédent pour l'exportation et pendant les années 1840-1880 l'exportation a toujours excédé l'importation.

Les 50 dernières années ont donné à l'agriculture suédoise un développement vraiment merveilleux. Ce qui y a contribué le plus sont les communications améliorées, la répartition légale (*laga skifte*)[1], les différents instituts agricoles, les ingénieurs agricoles, les stations agronomiques, les stations d'essais de semences, l'amélioration des méthodes et de l'outillage, etc.

Chemins de fer. — La première voie ferrée fut ouverte au public le 5 mars 1856, et depuis ce temps-là la longueur des chemins de fer, en 1887, atteint 7379 kilomètres, dont 4883 kilomètres appartiennent à des compagnies particulières.

La Norvège.

La Norvège est située entre 57° 59′ (Lindenæs) et 71° 11′ 40″ (Nordcap) de latitude nord. Sa superficie est de 325423 kilomètres carrés; elle occupe donc un peu plus du tiers de la presqu'île scandinave.

Population — Le nombre des habitants, à la fin de l'année 1886, était évalué à 1974000, ce qui donne une densité d'environ 6 personnes par kilomètre carré. La densité de la population offre des inégalités encore plus grandes qu'en Suède. La population est le plus dense aux environs du golfe de Christiania (Kristianiafjorden). Ici les préfectures de Jarlsberg et de Laurvik ont une densité dé 37, celle de Smaalenene de 26, celle d'Akesrhus de 21 habitants le kilomètre carré. De grands territoires de la partie septentrionale cons-

1. *Laga skifte,* opérations par lesquelles les terres communales sont réparties. Les règlements donnés à cet effet par le Gouvernement au bureau des arpenteurs-géomètres portent le titre d'Ordonnance sur la répartition légale du royaume du 4 mai 1827.

tituent, au contraire, presque des déserts. Tel est, par exemple, le cas de la préfecture de Finnmarken où, en moyenne, il n'y a que 1 habitant par 2 kilomètres carrés. La conséquence en est que la densité, en moyenne, est inférieure à celles des autres pays de l'Europe.

En Norvège, l'agriculture n'est pas arrivée à la même importance qu'en Suède. Ce n'est pas le climat qui en est la cause, car, grâce au courant du golfe, la Norvège jouit d'un climat plus doux que la Suède, plus doux même qu'aucun autre pays sous la même latitude. Ainsi le froment est cultivé jusqu'à la 64e, le seigle et l'avoine à la 69e et l'orge à une hauteur qui atteint la 70e latitude. Mais, vu la grande étendue des montagnes, il n'y a qu'une très petite partie du pays qui puisse être cultivée. De toute la superficie de la Norvège l'emblavure n'occupe qu'environ 252 039,7 hectares et les prés, prairies et terres en jachère, les jardins, etc., environ 784 460,3 hectares.

Toutefois, depuis la moitié de notre siècle, l'agriculture a eu un développement assez considérable, résultat auquel l'État a donné un puissant appui entre autres choses par l'Administration de l'agriculture (*Landbrugsdirektoriatet,* à Christiania), des institutions et des ingénieurs agricoles, des instituteurs ambulants pour l'agriculture, des chimistes agricoles et des stations d'essais des semences. Les récoltes, en céréales et en plantes-racines, de 1835 à 1875, ont plus que doublé.

Parmi les céréales, c'est l'orge et l'avoine qui sont le plus cultivées. L'orge a une production moyenne de 1 500 000 et l'avoine de 3 300 000 hectolitres par an. En second lieu, quant à l'étendue des récoltes, viennent le méteil — 700 000 hectolitres, — le seigle — 370 000 hectolitres, — en dernier lieu, le froment — 100 000 hectolitres. En 1875, les pommes de terre donnaient une récolte d'environ 7 000 000 d'hectolitres. Pourtant la production du pays ne suffit pas à la consommation, et l'importation en céréales est nécessaire. L'importation des années 1871-1875 était de 46 p. 100, le pays lui-même ne produisant que 54 p. 100 de la consommation. La valeur totale des récoltes pour les années 1871-1875 fut évaluée à environ 76 millions de couronnes par an.

La valeur de la terre labourable, depuis 1855-1885, est montée

de 450 à 500 millions de couronnes à 650 à 700 millions de couronnes.

Le capital des forêts a baissé, mais la valeur de celles-ci a haussé. Somme toute, la valeur des forêts et du sol, dans les 30 dernières années, a augmenté d'environ 80 p. 100.

Chemins de fer — La longueur des chemins de fer, en 1886, était de 1562 kilomètres et fut évaluée à 33 millions de couronnes.

La première voie ferrée fut ouverte au public en 1854.

LES QUALITÉS DES SEMENCES SCANDINAVES PROUVÉES PAR DES ESSAIS DE CULTURE ET DES RECHERCHES SCIENTIFIQUES.

Essais culturaux.

Le Dr *F.-C. Schübeler*, professeur à l'université de Christiania, qui a si bien mérité de la culture des plantes du Nord, s'était voué, depuis 1848, à des études botaniques, et dès 1852 a institué des expériences, faites sur la plupart des plantes cultivées de l'Europe avec leurs variétés. Ces essais ont été poursuivis dans le jardin botanique de Christiania comme dans plusieurs stations particulières tant des parties septentrionales de la Norvège que de la Chine, du Japon et de l'Algérie. Les résultats précieux obtenus par des essais culturaux, continués durant tant d'années, ont été exposés par le savant professeur dans une conférence à l'occasion du Congrès général d'agriculture de Gothembourg au mois de juillet 1860 et dans les œuvres suivantes :

Die Kulturpflanzen Norwegens, 1862 ; *Die Pflanzenwelt Norwegens,* 1873-1875; *Væxtlivet i Norge,* 1879, et *Viridarium Norvegicum* (*Norges Væxtrige*), 1885 et 1886 (encore inachevé).

En outre, ces savantes recherches ont été résumées par des auteurs allemands, suédois et français, parmi lesquels l'exposé suivant mérite d'être signalé d'une manière particulière: *Mémoire sur la végétation dans les hautes latitudes,* par *Eugène Tisserand,* inspecteur général de l'agriculture en France. Paris, Bouchard-Huzard, 1876.

Les résultats auxquels est arrivé le professeur Schübeler comme suite des expériences si consciencieuses auxquelles il s'est livré ac-

tivement pendant plus de quarante années comme savant et comme praticien dans le domaine de la botanique, concernant les modifications subies, dans les régions plus septentrionales, surtout par les plantes cultivées appartenant aux familles naturelles suivantes : — les graminées, les papilionacées, les crucifères, les chénopodiacées, les composées, les dipsacées, les aspérifoliacées, les labiées, les ombellifères, les malvacées, — il les a lui-même résumés dans les propositions que voici :

(1) Quand on déplace peu à peu un végétal du Sud au Nord, ou aussi à une altitude plus considérable au-dessus de la mer, il s'accoutume, au bout de quelques années, à son nouvel habitat, et y parvient à son parfait développement en un temps plus court qu'auparavant, quoique la température moyenne de cet habitat puisse être sensiblement inférieure à celle du local primitif. Si, après quelques générations, on sème des graines du même végétal dans son local primitif, il mûrit, pendant les premières années en un temps plus court qu'avant son transport par semences dans une localité plus septentrionale.

(2) Presque tous les végétaux, croissant sous des latitudes élevées, possèdent, dans la totalité de leurs parties, une quantité sensiblement plus forte d'arome et de pigment que les mêmes plantes cultivées sous des latitudes inférieures.

Les plantes septentrionales ont des feuilles plus grandes et d'un vert plus foncé que celles des localités plus méridionales.

(3) Les graines de la plupart des végétaux augmentent jusqu'à un certain point en dimensions et en poids, à mesure qu'on les transporte vers le Nord, à condition, cependant, que ce transport ne s'opère pas en une seule fois, ni plus loin que les végétaux ne soient à même d'atteindre leur parfait développement pendant le court été de ces régions. Dans le rapatriement vers le Sud, à leur local primitif, les graines reprennent, au bout de quelques générations, leurs dimensions originaires.

(4) Les graines provenant d'une localité septentrionale, ont une écorce plus mince, germent plus promptement et mieux, et donnent naissance à des plantes plus vigoureuses et plus rustiques que les graines d'une provenance plus méridionale.

Comme conséquences de ces lois on est fondé à dire que la valeur des semences du Nord consiste en ce que :

Les graines tirées des régions septentrionales et semées au sud donnent des récoltes plus riches, mûrissent plus tôt que celles des graines tirées d'un pays méridional ;

Les graines du Nord l'emportent sur celles du Sud par un poids absolu et un poids de l'unité de volume très élevés.

Les graines mûries dans les régions septentrionales présentent des plantes plus vigoureuses et plus hardies.

Ces lois ont reçu la sanction des recherches de plusieurs autres savants dont il suffira de rappeler quelques-uns.

M. le professeur *Dr L. Wittmack,* qui a institué des essais culturaux avec des semences du Nord en Allemagne, en France et en Angleterre pendant les années 1874-1876. Voir son *Bericht über vergleichende Kulturen mit nordischem Getreide. Referent: L. Wittmack,* dans *Landw. Jahrbücher 1874, 1875-1876.* Wiegandt, etc. Berlin.

M. le professeur *Dr A. Petermann,* à Gembloux, en Belgique, par des essais faits en 1875 avec des graines suédoises de fléole et de trèfle d'Alsike, qui ont si bien réussi qu'ils provoquaient l'admiration des cultivateurs des environs. C'était surtout la végétation du trèfle d'Alsike qui, par sa hauteur si élevée et si égale, ainsi que par son épais feuillage, émerveillait tout le monde.

M. *Vilmorin,* négociant-grainier à Paris, avait institué, la même année, des essais avec des semences originaires de Suède, d'Allemagne et du Midi. Là aussi les semences suédoises excellaient par la fructescence en ce que la moisson en était toute mûre tandis que celle des graines françaises était encore verte.

Déjà entre 1760-1770, le pasteur *Björn Haldorsen* en Islande, par des essais culturaux, appela l'attention sur les qualités excellentes des graines tuberculeuses du Nord. Il soutenait que ces graines germent plus tôt, supportent bien mieux les froids de printemps et les intempéries que celles provenant d'un climat plus méridional.

Par des essais faits près de Stockholm, en 1868, avec des graines de betteraves suédoises, russes et allemandes, on a constaté que les graines suédoises ont donné le plus grand rendement tant comme quantité, que comme teneur en sucre.

Pour montrer combien on pourrait atteindre des résultats plus favorables en employant des graines forestières du Nord, je citerai très succinctement un exposé de M. le *Dr E. Rostrup* au deuxième congrès général du Nord à Sundsvall, 1882.

Il y a cent ans que le Danemark manquait tout à fait de forêts de pins et de sapins tandis qu'à présent plus de 8 milles carrés en sont couverts. Par malheur, ces boisements y viennent mal. Les racines sont infestées par des végétations parasites qui les abîment et, en outre, le pin est détruit par la chute des aiguilles dont les gelées de nuit, le desséchement des feuilles et la végétation parasite sont les causes. Le pin du Danemark est presque exclusivement le semis de graines allemandes. M. le chambellan Riegels, qui a si bien mérité du boisement des bruyères danoises, s'aperçut, il y a déjà plusieurs années, que des pépinières où l'on avait employé des graines de pin originaires de Suède se plaisaient très bien dans le Jutland, observation qui détermina le Gouvernement, sur la proposition de la Société pour le boisement des bruyères (*Hedeselskap*), à prescrire que dans les pépinières de l'État on ne se serve pas d'autres graines que de graines suédoises. Quelques propriétaires particuliers de bois se sont hâtés de suivre l'exemple donné par l'État. En comparant les plantes de pin, on a partout trouvé que celles provenant de graines suédoises ont été plus vigoureuses, tandis que celles d'origine allemandes, au plus haut degré infestées par des végétations parasites, ne faisaient que traîner, le plus souvent, pour mourir déjà pendant la seconde année[1].

---

1. *Les Graines forestières de provenance suédoise et allemande dans les reboisements de la préfecture de Halland.* — Le comité des impôts de la Diète de Suède de 1888, dans son rapport n° 8, p. 36*, vient de faire constater un fait de la plus haute importance concernant la valeur comparative de ces graines. On y lit : — « Beaucoup de membres de la Diète ne seront pas sans connaître que l'emploi de graines forestières en Suède a tourné bien mal. Ainsi, les reboisements sur une grande échelle dans la préfecture de Halland, commencés il y a 20 ou 25 années, où l'on a employé des graines de pin allemandes, sont bien loin de donner de bonnes espérances pour l'avenir, tandis que les plantations de graines suédoises sont belles et vigoureuses. »

Pour plus de renseignements sur les qualités supérieures de graines forestières de la Suède, voir le journal *Skogsvännen* (l'*Ami des forêts*), livraison de janvier 1886.

* *Svenska Rikdagens Bevillnings-Utskotts Betänkande*, n° 8 af den 11 april 1888, p. 36.

Qu'on me permette aussi de dire quelques mots sur les essais faits en 1883 et 1884 *par l'Académie royale d'agriculture aux frais de M. L.-O. Smith.*

Dans les discussions sur la culture de semences au 15e Congrès général à Malmö, 1881, M. L.-O. Smith remit en question la nécessité de prendre des mesures pour l'exportation des semences, de graines et de plantes industrielles de Suède dans les principales places commerciales de l'étranger. La question grainière, par ce moyen-là, deviendrait d'un grand intérêt national. Pour faire connaître à l'étranger les bonnes qualités des graines suédoises, dans le cours de ses voyages en Italie, en Espagne, en France et en Égypte, l'orateur avait adressé aux gouvernements de ces pays la demande de permettre aux instituts agricoles respectifs d'instituer, sur une assez grande échelle, des essais de culture comparatifs avec des graines suédoises, de manière qu'un hectare eût un semis suédois, qu'un autre en eût un de graines indigènes, et qu'enfin les résultats fussent publiés. Pour la réalisation de ce projet, le proposant s'offrit de mettre à la disposition de l'Académie royale d'agriculture les deniers nécessaires pour faire face aux frais de l'achat et de l'exportation de ces semences. En outre, il s'offrit de faire publier dans les différentes langues les comptes rendus qui arriveraient.

En conséquence de l'offre si libérale de M. Smith, le rapporteur de l'Académie royale d'agriculture de Stockholm, le professeur J. Arrhenius, distribua une lettre-circulaire, en date du 29 août 1881, par laquelle il engagea les receveurs à adresser à cette académie une déclaration de ce qu'ils pourraient vendre pour l'automne de l'année en semences ou en graines, du poids par tonneau ou pied cubique, de leur qualité, ainsi que du prix de ce qu'on souhaiterait vendre. La lettre dit de plus : — « Il va sans dire que ce ne sont que les grains et les graines, bien mûris et moissonnés par un temps favorable, enfin, de la meilleure qualité, qui pourront être reçus pour l'exportation, de sorte que seulement les semences, considérées les plus excellentes pour être semées doivent être offertes en vente. »

Selon le compte rendu de M. l'intendant A. Forssell, dans les *Mémoires de l'Académie royale d'agriculture* de l'année 1884, p. 181-

190, une quantité de 22,825^{kg},30 pendant les années 1883 et 1884, a été envoyée, aux frais de M. L.-O. Smith, à différents pays.

C'est aussi M. Forssell qui, au jour solennel de l'Académie, 29 septembre 1884, a rapporté les résultats obtenus (voir *Mémoires de l'Académie*, n° 2, 1885). En outre, ils ont été insérés dans des journaux allemands et français.

Ces essais culturaux m'obligent à faire quelques observations.

Bien que le professeur Arrhenius eût très nettement insisté sur la nécessité de n'envoyer que des semences de première qualité, on n'y a pas eu égard. En effet, il y avait au nombre des semences ainsi envoyées à l'étranger une assez forte quantité *de qualité bien inférieure*. On s'en aperçoit par le rapport de M. le professeur *A. Müller* (*Deutsche Landw. Presse*, n°s 29-34, 39, 45 et 46, 52 et 59, en 1885), comme par celui de M. *Boysen*, de Kiel, sous le titre de : *Betrachtungen über schwedisches und deutsches Saatkorn* (*Deutsche Landw. Presse*, n° 60, du 29 juillet 1885), où il nous dit que des semences de qualité bien inférieure avaient aussi été envoyées à l'école agricole de Schönbrunn — du seigle de mars trop léger ; en Silésie — de mauvaises semences ; à l'école agricole de Hochenburg — un seigle de grains petits et d'une faculté germinative de seulement 54 p. 100. M. *W. Gerland*, de Halberstadt, constate encore ces circonstances si regrettables (voir *Die Anbau-Versuche mit schwedischem Saat-Getreide und ihre Ergebnisse, von W. Gerland in Halberstadt*, dans *Deutsche Landw. Presse*, n° 72, du 9 septembre 1885), et enfin elles sont signalées dans des communications sur les échantillons malencontreux des graines de Suède envoyés à la Belgique et aux Pays-Bas.

C'est M. Burenstam, ministre de S. M. le roi de Suède et de Norvège près la cour de Belgique, qui a fait la communication suivante sur les semences envoyées à ce pays (*Comptes rendus de la Société pour l'encouragement à la culture de semences indigènes en Ostrogothie*, n° 14 ; — *Förening för inhemsk frödling i Östergötland*, Linköping, 1885) :

« Par-ci par-là on entend des personnes mettre en doute si les semences tirées de la Suède et de la Norvège peuvent bien se plaire en Belgique. Il faut en chercher la cause dans les résultats peu

encourageants de quelques-unes des semences présentées par M. Smith au gouvernement belge, en 1883, surtout dans le Hainaut, résultats publiés en Suède par l'intendant de l'Académie royale d'agriculture, M. Forssell; à Bruxelles, par le ministère de l'agriculture; dans les *Bulletins agricoles,* tome XXXVII, pages 90 et suiv. Pourtant, cette impression peu favorable s'efface devant tant d'expériences particulières bien réussies. Parmi celles-ci, il me sera permis de relever un essai sur une assez grande échelle par M. de Stuers, à Kersekenshove, en Flandre, avec de l'avoine, du blé et des trèfles, envoyés par M. Hagendahl, d'Örebro, comme aussi un chez M. le consul Brugmann, à Froid-Chapelle en Hainaut, avec l'avoine, que lui avait envoyée le marchand-grainier Ohlsson, de Christianstad.

Sur l'envoi de graines aux Pays-Bas, M. F.-J. van Pesch, assistant de la station d'essais de semences à Wageningen, en date du 5 août 1883, m'a communiqué un bulletin, où il en dit « que, pour être d'une origine suédoise, les échantillons de semences étaient de qualité bien inférieure ».

On ne pourrait assez regretter que de semblables graines aient été exportées, car l'exportation des semences de notre pays en a eu à éprouver les plus grands dommages, qui ne pourront être réparés qu'après de longues années et par de grands efforts.

On sera aussi, sans doute, fondé à regretter le manque d'un plan dressé et suivi dans les essais de culture entrepris ensuite de ces contributions de M. Smith. Autrement on n'aurait pas eu à constater quelque chose de si peu vraisemblable que dans 21 des 42 places où les essais ont été faits en Allemagne, les récoltes ont été évaluées d'une manière tout arbitraire, pour en dire le moins, car on y manque de toute donnée sur le poids des récoltes en graines et en paille.

De plus, il reste à relever que les différentes espèces de graines n'ont pas été soumises à une vérification quant à leur poids, à leur pureté, à leur faculté germinative, à leur valeur pour la panification et, pour l'orge, à son emploi profitable dans le maltage.

Par les bulletins suivants on a reçu, à cet égard, des communications concernant des expériences heureuses, faites par d'autres personnes.

Essais culturaux avec des variétés d'avoine dans le domaine d'Anderbeck, en 1885[1].

Essais culturaux avec des semences de betteraves, par M. L. Massez, en France[2].

Essais culturaux avec des trèfles rouges originaires de différentes localités, par le Markfrökontoret, à Copenhague.

Werthbestimmung des zu den sächs. Anbauversuchen mit schwedischem Getreide 1884 bezogenen Saatgutes[3].

Schwedisches Saatgut in Deutschland und Belgien[4]. *Jahresbericht der Königlichen Landwirthschafts-Gesellschaft zu Celle für das Jahr 1885.*

Bulletin de l'agriculture, Belgique en 1885.

Enfin, M. *Géza Koppély*, propriétaire hongrois, a fait instituer, en 1887, des essais avec 5,000 kilogr. d'orge Chevalier, reçu de la Scanie, lesquels ont eu un succès si complet que de nouveaux ordres de 5,000 kilogr. d'orge suédoise viennent d'y être adressés pour la continuation de ces essais ; en outre il a été demandé 2,000 kilogr. d'avoine blanche, 100 kilogr. de grands pois blancs de Sudermanie, 100 kilogr. de graines de fléole. La *Société économique* de la Bohême, par son secrétaire, M. Ignaz Tittel, a aussi commandé 900 kilogr. d'orge pour en faire des essais dans différents domaines du pays. — La Société impériale d'utilité commune et d'économie de Livonie, Dorpat, par son secrétaire, M. Gustave Stryk : 220 kilogr. d'orge, 1,540 kilogr. d'avoine noire.

---

1. Les résultats de ces essais culturaux sont publiés dans *Versuche über den Culturwerth verschiedener Hafervarietäten von O. Beseler und M. Mærcker.* Magdeburg, A. et R. Faber, 1886, 9 p. in-4°. Inséré dans *Biedermanns Central-Blatt für Agricultur-Chemie,* 1887. En extrait on trouve encore ce mémoire dans *Tidskrift för Landtmän* (*Journal des cultivateurs*) n° 19, le 8 mai 1886.

2. Sont reproduits dans le journal *Vårt Land* (*Notre patrie*), le 8 mai 1886 et dans le journal précité : *Tidskrift för Landtmän,* n° 22, le 29 mai 1886.

3. Se trouve dans le n° 28 de *Sächs. Landw. Zeitschrift,* 1884.

4. Publié dans *Nachrichten aus dem Club der Landwirthe zu Berlin,* 1885, et dans *Allgemeine Brauer und Hopfenzeitung,* n° 7, 15 januar 1886.

D'autres essais culturaux bien réussis avec des grains suédois me sont parvenus dans les rapports suivants.

Recherches scientifiques.

C'est M. le professeur *Dr A. Petermann*, à Gembloux, en Belgique, et l'auteur de cet opuscule, qui, pendant l'été de 1876, ont fait les premières recherches scientifiques sur les semences suédoises.

Ces recherches furent instituées sur 52 échantillons de blés, de tréfles, de graines de graminées, de betteraves et de graines de pin et de sapin d'origine suédoise. Les résultats acquis constataient bien nettement les faits suivants :

1. Les qualités supérieures des graines du Nord sur celles des pays les plus méridionaux en

a) Énergie germinative,

b) Pouvoir germinatif,

c) Poids absolu et

d) Pureté.

2. Que, surtout quant aux trèfles, des graines de cuscute y manquaient tout à fait, ce qui démontre que cette plante parasite nuisible est très rare dans le Nord.

3. La thèse de M. Schübeler et d'autres auteurs, qu'en suite de la grande énergie germinative et du poids absolu considérable des graines de hautes latitudes, les semences qu'on en transfère au Sud y mûrissent bien plus vite et donnent une récolte plus riche que les graines indigènes.

M. Petermann a publié ces résultats en Belgique dans les *Mémoires de l'Académie des sciences*, tome XXVIII : mémoires couronnés et autres mémoires, publiés par l'Académie royale de Belgique, 1877 — et dans son ouvrage : *Recherches de chimie et de physiologie appliquées à l'agriculture,* 2e édition, Bruxelles et Paris, 1886. (En outre, M. G. Mayolez éditeur-libraire à Bruxelles, en a publié des tirés à part. Prix : 1 fr. 50 c.)

La Station agronomique et d'essais des semences à Örebro, directeur : C.-G. Zetterlund. Outre les recherches agronomiques générales, la station s'est occupée à faire des études scientifiques sur les graines de trèfles et de graminées, d'orge, de blé, de seigle,

d'avoine sur le houblon et sur les pommes de terre. Les résultats sont publiés dans divers journaux suédois et allemands.

La Station agronomique et d'essais de semences, à Kalmar, directeur : Dr Albert Atterberg, — a fait depuis 1884 des recherches approfondies sur l'avoine et sur l'orge.

La Station d'essai de semences du Danemark (*Dansk Frokontrol*), à Copenhague, directeur : M. E. Møller-Holst, — a entrepris des recherches sur les graines de trèfles et de graminées. Le sous-directeur, licencié ès arts, M. *Samsøe-Lund*, s'est livré à comparaison des *graines de trèfles* américaines, allemandes, suédoises et danoises, et il est arrivé à la conclusion que celles de Suède l'emportent sur les autres. Voici ce qu'il en dit : — « Les graines de Suède sont considérées comme donnant des plantes très rustiques. Si elles étaient d'une pureté plus grande qu'elles ne le sont en général et qu'on pût gagner la certitude de les obtenir en quantité un peu considérable, d'origine vraiment suédoise et sans mélange, elles seraient sans doute à préférer à celles de la plupart des autres localités. » (N° 2 du *Bulletin de la Société pour l'amélioration des plantes cultivées* [*Beretning udgivet af Forening til Kulturnplanternes Forbedring*] 1879-1880, page 36.)

Ce que nous venons de dire des graines de trèfle est aussi valable pour la vesce sauvage (*Vicia sepium*), vesce cracca (*Viscia cracca*), vesce hybride (*Vicia hybrida*) la gesse (*Lathyrus pratensis*), le lotier (*Lotus corniculata*), la vesce hérissée (*Ervum hirsutum*), etc.

Pour ce qui concerne en particulier les *graines de graminées*, les recherches des dernières années ont pleinement établi que celles récoltées en Suède sont plus volumineuses de beaucoup et d'un poids bien plus considérable, par conséquent de meilleure qualité que celles des pays méridionaux.

Les essais si intéressants et si consciencieux du Dr Marek ont prouvé à l'évidence qu'il y a une relation directe entre le développement du germe et la grosseur du grain, et, par conséquent, la quantité de matières dites en réserve. La racine se développe plus vite, pénètre le sol à une profondeur plus considérable et rend la plante plus indépendante des changements de température et d'humidité, ce qui lui donne une croissance bien plus vigoureuse.

Quant au poids absolu, en voici un exemple. Le poids moyen de 1,000 graines de fléole des prés (*Phleum pratense*) récoltées pendant les années 1877-1884, en Suède, en Danemark et en Suisse, a été pour la Suède $0^{gr},45$, pour le Danemark $0^{gr},41$, pour la Suisse $0^{gr},39$. Celui des graines américaines n'avait atteint que $0^{gr},33$.

A en juger par l'expérience faite en Danemark, les graines de fléole américaines donneraient une récolte inférieure aux graines européennes en tant que celles-là produisent des plantes plus faibles et moins riches en feuilles que celles-ci.

Le poids moyen de 1,000 *graines de paturin des prés* (*Poa pratensis*) de provenance danoise est $0^{gr},256$, tandis que celui des graines américaines n'est plus que de $0^{gr},224$.

La *fétuque des prés* (*Festuca pratensis*), graines danoises, montre un poids moyen de $1^{gr},846$ p. 1,000 ; des graines allemandes $1^{gr},804$, des graines américaines $1^{gr},736$.

Outre le poids inférieur des graines d'origine américaine, il y a encore une circonstance à prendre en considération. Tant en Suisse qu'en Danemark, l'expérience a montré que les récoltes produites par des graines d'Amérique sont fortement ravagées par la puccinie (*Puccinia coronata*), qui, vers l'automne, cause de grands dégâts, fait périr un grand nombre de plantes et produit ainsi des vides au détriment de la récolte. — Il s'ensuit que les graines provenant d'Amérique ne doivent à aucune condition entrer dans la semaille.

Le *dactyle aggloméré-pelotonné* (*Dactylis glomerata*), originaire d'Allemagne, a un poids moyen de $1^{gr},089$, de France de $0^{gr},911$, d'Amérique $0^{gr},852$, d'où il résulte que les pays septentrionaux produisent des graines plus grosses et plus pesantes.

La Station d'essais de semences de Danemark, à Copenhague, dans ses recherches comparatives sur des graines de graminées de différentes localités, est arrivée au résultat que le poids diminue dans l'ordre suivant : les graines de Suède, d'Écosse, de Danemark, d'Allemagne, de France, d'Amérique, d'Australie, en raison de quoi cette station conclut que la grosseur des graines décroît vers le Sud. Voir : *Meddelelser fra Dansk Frøkontrol*, n° 21. *Sammenligning mellen Græsfrø fra forskjellige Avlssteder af* d. 1 nov. 1886, insé-

rés dans n° 6, *Beretning af Forening till Kulturplanternes Forbedring;* Aarene 1885-1886, page 107.

La Station d'essais de semences de la Société impériale-royale d'économie de Vienne[1], directeur: le professeur Dr A. Ritter von Liebenberg, a fait une série de recherches sur l'influence de la lumière sur la germination.

La Station d'essais physiologiques et de semences de Tharand, directeur : le professeur Dr F. Nobbe, durant l'hiver et le printemps de 1881, a analysé 111 échantillons de grains, de graines de trèfles, de graminées, du pin, de plantes d'ornement, etc., tirés de différentes parties de la Suède et de la Finlande.

Le 15 février 1881, dans une conférence devant le club allemand d'agriculteurs à Berlin, M. Nobbe fit l'éloge des grains et des graines suédoises, tant comme pureté que comme énergie germinative et comme poids. « Le développement des graines suédoises, disait-il, est précoce et les jeunes plantes possèdent une grande rusticité, de sorte que, dans les semences du Nord, nous sommes fondés à saluer l'apparition d'une matière première de la meilleure nature, apte à produire des plantes vitales et des plus saines. » De plus, M. Nobbe confirmait dans ce travail les conclusions auxquelles était arrivé M. Petermann cinq années auparavant.

M. Axel Odelberg, à Enskede, près Stockholm, qui a fabriqué pendant plusieurs années de l'amidon de froment suédois, a trouvé que le déchet azoté devenait plus grand qu'on ne le constate, par exemple en Allemagne, et que, par conséquent, la fabrication d'amidon de froment n'est pas si profitable chez nous que dans ce pays-là.

Somme toute : — Par ce que nous venons d'exposer, nous croyons pouvoir résumer les résultats obtenus par les recherches sur les qualités des graines de la Scandinavie par l'énonciation suivante des hommes du métier : — « Les semences provenant du Nord qui, dans leur pays originaire, sont arrivées *au développement et à la maturité complets, par leur poids absolu élevé, par leur précocité et leur grande rusticité,* possèdent une supériorité qu'on ne saurait

1. Le présent directeur de la station d'essais de semences de Vienne est M. le Dr Theodor von Weinzierl.

constester. On peut donc les considérer comme pouvant rendre de grands services à la culture des pays plus méridionaux.

DÉVELOPPEMENT DE LA CULTURE DE SEMENCES PAR L'ENCOURAGEMENT DES CONGRÈS, DES SOCIÉTÉS, ETC.

1. — Congrès.

Les congrès où s'assemblent des hommes compétents pour échanger leurs idées basées sur des expériences, faites en différentes localités, ont été de la plus haute importance pour la question grainière. Ces congrès ne sont, comme on le sait, que de date assez récente.

Le premier congrès général du Nord eut lieu *à Borås en* 1880 ; on n'y comptait que 48 membres, parmi lesquels deux Allemands. Les questions mises en délibération, au nombre de 13, portaient pour la plupart sur les moyens de relever la culture des semences, sur les essais de semences et leur exportation.

Le deuxième congrès général du Nord, à Sundsvall, 1882. — Là il y avait 653 membres, parmi lesquels étaient représentés les pays suivants :

Allemagne, représentée par	8	adhérents.
Autriche.	1	—
Hongrie.	2	—
Pays-Bas	1	—
France	2	—
Amérique du Nord.	2	—
Suisse	1	—

Les discussions embrassèrent 30 questions divisées en 4 groupes :

a) Sur l'enseignement de la culture de semences, — 5 questions;

b) Sur la culture et les collections de graines, — 7 questions;

c) Sur le commerce et le contrôle de semences, — 11 questions;

d) Sur les méthodes de ces essais, — 7 questions.

En outre, il y a été donné 5 conférences sur la culture et le nettoyage des graines et des grains.

Le troisième congrès général du Nord, à Drontheim, 1887, vit aussi se réunir, dans l'intérêt de cette question, de nombreux

membres et des représentants des pays suivants : la Belgique y était représentée par 2 adhérents, la France, l'Allemagne, la Hongrie et la Russie chacune par 1.

Les questions proposées et discutées étaient :

1. Sur les qualités des plantes médicinales du Nord, l'importance de les recueillir et de les cultiver pour l'utilisation dans le pays et à l'étranger.

2. Sur l'amélioration des céréales, des plantes tuberculeuses et des graines.

3. Sur l'introduction et l'adoption de plans communs pour instituer des essais de culture comparés dans le but d'apprécier la valeur des

a) Différentes espèces de céréales, de plantes tuberculeuses et de graines,

b) Différents engrais.

4. Sur les moyens de relever le rendement des terrains maintenus comme gazons permanents.

2. — Sociétés pour l'encouragement à la culture de semences.

Les sociétés à présent en activité dans ce but sont au nombre de 10 en Suède et de 1 en Norvège, toutes ayant pour modèle la *Forening til Kulturplanternes Forbedring,* — Société pour l'amélioration des végétaux culturaux, — organisée en Danemark, en 1876.

Elles ont pour but d'encourager la culture de bonnes semences indigènes de grains, de trèfles, de graminées, de plantes industrielles ou d'ornement, douées des qualités requises pour braver le climat du Nord ; en outre, elles cherchent à encourager la formation de collections de plantes médicinales et de graines forestières pour la consommation dans le pays et à l'étranger.

Pour atteindre ce but, elles se sont proposé :

1. De se procurer des semences améliorées et toutes pures de froment, de seigle, d'orge, d'avoine, de pois et de vesces.

2. De distribuer entre un certain nombre de petits cultivateurs

les espèces de semences les plus recherchées dans le commerce, telles que le dactyle aggloméré, le fromental, la fétuque, le vulpin, le brome des prés, le ray-grass anglais et des graines de navets, de choux-navets, de choux, etc.

3. De donner des prix à ceux qui auront le mieux réussi à obtenir dans une région et pour les plantes indiquées par la Société, le plus grand rendement de graines pures et d'une bonne qualité germinative, comme cela se fait en Saxe, où le ministère des affaires intérieures a fixé trois prix de 300, 200 et 100 marck.

4. De prendre des mesures pour provoquer la création de collections de graines des légumineuses sauvages.

5. De nommer des « inspecteurs culturaux » pour enseigner la culture des semences, du houblon, l'amélioration des plantes, donner des instructions sur les graines de légumineuses sauvages, les plantes médicinales, instituer des essais avec différents végétaux, faire des conférences sur la culture, et, enfin, organiser des expositions de semences.

3. — Coopération des maisons grainières dans l'amélioration des semences.

Les principales maisons grainières :

Association suédoise générale de semences (*Allmänna svenska utsädesföreningen*), *Svalöf*[1],

Comptoir grainier de la Scanie (*Skånska Frökontoret*), *Malmö*,

M. Johan Kyhlberg, Skara,

M. C.-A. Hagendahl, Örebro,

ont des champs d'expériences affectés à la culture expérimentale d'espèces de grains et de graines moins communes avant d'être débitées sur une échelle plus ou moins grande. Ces maisons ont arrangé leur commerce grainier de la manière suivante. Elles font distribuer

1. Cette Société, siégeant à Svalöf, dans la province de Scanie (Suède méridionale), fut fondée le 13 avril 1886. D'après son rapport pour l'année 1886, celui de 1887 n'étant pas encore publié, elle ne comptait pas moins de 281 membres de toutes les parties du pays. Elle est administrée par un conseil de 9 membres et 3 suppléants. Son président est M. le baron F.-G. Gyllenkrook, chambellan intime de S. M. le roi de

parmi les cultivateurs les plus notables de leur circonscription des variétés qui, dans les champs d'expériences par une culture com-

---

Suède et de Norwège, Sinclairsholm, près Kristianstad ; vice-président : M. le professeur Hjalmar Nathorst, Engelholm ; secrétaire : M. Birger Welinder, Svalöf.

La Société a une allocation annuelle de l'État et de la plupart des sociétés économiques du pays *.

D'après les principaux paragraphes de son règlement, la Société s'est proposé le but de :

a) Se procurer des renseignements authentiques sur les plantes cultivées en Suède et à l'étranger ;

b) Instituer et conduire des essais pour bien connaître la valeur et l'emploi profitable de ces plantes cultivées ;

c) Examiner les conditions culturales et les plantes de sa circonscription territoriale par des hommes compétents, qui auront en outre à donner, soit personnellement, soit par des conférences et des publications, des renseignements et des instructions aux cultivateurs et aux marchands grainiers ;

d) S'efforcer de créer d'excellentes semences généalogiques et de guider les cultivateurs dans leur choix ;

e) Faire avancer à la culture des graines de graminées, de trèfle et de légumineuses pour activer l'ensemencement rationnel de trèfles et la création de gazons par une race indigène des meilleures espèces de graminées ;

f) Organiser des expositions opportunes de blés et de graines ;

g) Faire connaître les semences suédoises à l'étranger et chercher à y procurer un débouché avantageux ;

h) Instituer et faire exercer un contrôle soigneux et efficace sur toutes les semences vendues sous la garantie de la Société.

Pour l'amélioration des semences, la Société a des champs particuliers d'expériences et des laboratoires. Elle a attaché à son service 3 hommes compétents pour conduire la culture et les opérations d'une recherche scientifique. MM. Th. von Neergaard et A.-U. de Westfelt, ingénieurs agricoles, et M. le Dr Hjalmar Nilsson, botaniste, physiologiste **.

Les semences (blé, seigle, orge, avoine, pois, vesces et pommes de terre) mises en circulation pendant l'exercice de 1887 et 1888, ont déjà fait obtenir à la Société l'approbation et la confiance générales.

* A. — *Donations faites à l'Association :*

a) A l'occasion où l'on a formé cette association, M. le baron F.-G. Gyllenkrook de Sinclairsholm a donné 10 000 couronnes.

b) Les membres perpétuels, 18 personnes, avaient versé une cotisation de 100 couronnes chacun, soit un total de 1 800 couronnes.

B. — *Revenus annuels de l'Association :*

a) Allocation annuelle de l'État	10 000	couronnes.
b) Cotisation de 32 membres garants	5 000	—
c) Les fabriques d'engrais artificiels de Stockholm et de Helsingborg.	3 000	—
d) Par 14 et 26 sociétés d'économie royales du pays, au moins.	8 000	—
e) Cotisation annuelle de 231 membres à 5 couronnes	1 155	—
Total.	26 155	couronnes.

** En tout, l'Association de Svalöf cultive 225 hectares de semences.

parative ont montré des qualités supérieures. Cette culture se fait sous contrôle et selon des prescriptions données. Les semences ainsi obtenues sont soumises au nettoyage et au triage les plus soigneux avant d'être écoulées sur le marché, soit indigène soit étranger.

4. — Établissements pour la dessiccation et le nettoyage des graines forestières.

(*Fröklängningsanstalter,* en allemand *Klengeanstalten*).

Le premier établissement de cette sorte en Suède fut fondé dans les premières années de la présente période décennale au domaine de Bergqvara, près Reppe, par le comte Knut Posse. Sa création est due, d'un côté, à la grande consommation du domaine en graines forestières aux besoins de laquelle on ne pouvait satisfaire que par l'emploi de graines allemandes d'une qualité bien inférieure aux suédoises ; d'un autre côté, à la résolution de l'administration des forêts du domaine public de n'employer que des graines d'une provenance suédoise.

Cet établissement fonctionne si bien, qu'il débite largement ses produits, non seulement en Suède, mais encore en Belgique et en Hongrie où, par des commandes répétées, la clientèle a témoigné sa pleine satisfaction des livraisons faites.

Sur le modèle de celui-ci, on en a établi beaucoup d'autres ; il nous suffira de mentionner :

L'établissement de Jemtland, à Östersund, le plus grand du Nord, qui a su s'approprier toutes les bonnes méthodes de notre temps ;

Ekström et Forssberg, Örebro ;

Ceux de *Wallox-Säby,* près Knifsta,

et de *Koberg,* près Sollebrunn.

En Norvège, il y en a trois, savoir :

L'établissement de M. *H. Gløersen,* inspecteur des forêts, Voss ;

Celui de Mme *Anne Steen,* Nordstrand, près Ljan (préfecture d'Akershus) ;

Celui de *Romedal.* Adresse : Ilseng.

RELÈVEMENT ET GARANTIE DU COMMERCE DE SEMENCES PAR DES EXPOSITIONS GRAINIÈRES ET DES STATIONS D'ESSAIS.

a. — **Expositions grainières.**

Aux expositions, petites et grandes, agricoles et industrielles, comme aux expositions internationales, depuis longtemps on a exposé des semences. Seulement, on y a prêté peu d'attention, parce qu'il s'est trouvé impossible de vérifier, par le seul extérieur décoratif, la valeur des objets exposés.

Souvent des objets sans valeur aucune y étaient étalés dans des bocaux de verre d'un poli exquis, munis d'étiquettes élégantes et ils remportèrent des mentions honorables; de grands prix furent donnés à des collections qui ne remplissaient pas même les exigences les plus modestes quant à la pureté, à l'authenticité et à la valeur culturale.

Au premier Congrès international d'agriculture et de sylviculture à l'Exposition internationale, à Vienne, 19 au 24 septembre 1873, sous la présidence de Son Excellence Johan Ritter von Chlumecky, ministre de l'agriculture d'Autriche, entre les questions mises à l'étude, la première partie de la troisième question était : — « Quelles parties des essais de la culture exigent l'arrêt d'un système d'observations internationales? » (*Welche Punkte des landwirthschaftlichen Versuchswesens verlangen die Feststellung eines internationalen Beobachtungs-Systems ?*)

C'est dans une conférence sur cette question que M. le professeur Nobbe a démontré d'une manière si concluante et si lucide combien la connaissance, le commerce et l'essai des graines manquaient de bases solides. C'était aussi en conséquence des communications de M. Nobbe, que le congrès adopta, à l'unanimité, la proposition suivante formulée par lui : « *Es ist wünschenswerth dass in den verschiedenen Staaten Samenprüfungsanstalten, sei es isolirt, sei es in Verbindung mit den bestehenden oder zu gründenden Versuchsanstalten nach einen möglichst übereinstimmenden Plane gegründet werden.* » (Le Congrès émet le vœu que, dans les différents États, des établis-

sements de contrôle de semences soient créés, sur le plan le plus uniforme possible, soit comme établissements séparés, soit conjointement avec les stations agricoles expérimentales déjà existantes ou qui pourront être instituées.)

Pour mieux faire ressortir sa critique, M. le professeur Nobbe y avait exposé une collection assez considérable de graines des mauvaises herbes les plus fréquentes dans les grains, les trèfles et les graminées, collection faite dans la station de Tharand. A cette collection exemplaire, le savant professeur avait joint des analyses, faites sur les graines des mauvaises herbes, trouvées dans une partie de graines de trèfles rouges, de lin et de raygrass français.

Exposition universelle d'agriculture à Brême, 13 au 21 juin 1874.

C'est ici que, la première fois, on a tenté de procéder d'une manière rationnelle et scientifique en exposant des échantillons de graines. M. le professeur Nobbe avait examiné et arrangé une collection, exposée par le royaume de Saxe, à laquelle avaient contribué toutes les sociétés d'économie du pays. Elle embrassait 437 numéros d'échantillons renfermés dans des bocaux de verre, sur lesquels on avait inscrit la valeur que leur assignait la station de Tharand.

La qualité du sol d'où provenaient les grains ou les graines fut indiquée sur des bandes de papier colorié attachées au bord supérieur des bocaux. Le rendement en graines par hectare était représenté par le volume plus ou moins grand des verres.

Enfin, les échantillons étaient accompagnés d'un mémoire dont le contenu renfermait : 1° numéros d'ordre ; 2° numéros d'ordre de la société ; 3° *a*) nom ; *b*) domicile de l'exposant ; 4° objet exposé ; 5 nature du sol ; *a*) classe de bonté ; *b*) espèce et origine ; 6° élévation au-dessus du niveau de la mer en mètres ; 7° poids par hectolitre ; 8° rendement par hectare, en quintaux ; 9° qualité des graines ; *a*) graines de bonne qualité germinative p. 100 ; *b*) nombre de graines par litre ; *c*) matières étrangères p. 100.

A l'exposition de la Société d'économie du gouvernement du Sud de Kalmar — agriculture et industrie — à Kalmar, 10 et 11 juillet

1879, ainsi qu'à l'occasion de la *31e exposition générale de la Scanie*, à Kristianstad, 22, 23 et 24 juillet 1879, M. C.-A. Hagendahl d'Orebro avait exposé des échantillons de graines de trèfles rouges, de trèfles d'Alsike, de fléole, de froment de printemps, de seigle de la Saint-Jean, d'orge et de vesces, tous arrangés et classés à la station d'essais de semence à Örebro, tant sous le rapport du poids spécifique, du poids absolu et de la pureté, avec indication de la nature des matières étrangères, que sous le rapport de la faculté et du pouvoir germinatifs; en outre, la valeur culturale était évaluée en conséquence de ces recherches. Les échantillons, conservés dans des bocaux de verre d'environ deux litres, portaient des étiquettes indiquant les résultats d'analyse précités. A chacun de ces congrès, des catalogues des objets exposés par M. Hagendahl furent distribués; ils renfermaient les résultats d'analyse, et pour le profit des agriculteurs, une liste des mauvaises herbes les plus communes, des formules pour faciliter le calcul de la valeur culturale, les marques distinctives des bonnes semences, enfin, d'après les indications de M. le professeur Nobbe et de M. le directeur général A.-E. Ritter von Lomers, le poids, la pureté et la faculté germinative des différentes espèces de blés, de trèfles et des graminées les plus fréquentes dans le commerce.

3e Exposition de semences à Prague, 27 septembre-5 octobre 1879.

A cette exposition, M. C.-A. Hagendahl d'Örebro et M. Jean Kylberg, d'Österäng, près Forshem, en Vestgothie, prirent part, avec beaucoup de distinction, par des échantillons de graines et de semences, analysés par la station agronomique d'Örebro. Les expositions de ces messieurs étaient accompagnées de catalogues, en allemand et en français, indiquant les résultats d'analyse, le prix, et, pour l'information des cultivateurs, une liste des mauvaises herbes les plus fréquentes, des formules pour le calcul de la valeur culturale, les caractères des bonnes semences, et, en dernier lieu, d'après les données de M. A.-E. Ritter von Komers, le poids par hectolitre et le poids de 1,000 graines, les matières étrangères et la faculté germinative des espèces les plus communes de blés, de trèfles et de graminées du commerce.

Dans la *Prager Gechäftszeitung*, n° 1766, 15 octobre 1879, à la première page, on consacre un article spécial aux graines et aux semences suédoises : *Die Schwedische Saatgutausstellung*, où l'on dit : « Les espèces de graines exposées, le froment de printemps, le seigle de la Saint-Jean, l'orge, l'avoine noire, les vesces, le trèfle rouge, le trèfle d'Alsike et la fléole des prés étaient toutes d'une qualité exquise. — Les tableaux qui donnaient les résultats des analyses sur les échantillons étaient d'un intérêt tout spécial. »

Il sera peut-être digne de remarque que les graines et les semences suédoises, de toute l'exposition, étaient les seules soumises à une analyse scientifique.

La première exposition générale de graines du Nord, à Borås, 1880.

A cette exposition il y avait 104 exposants avec 741 numéros d'objets exposés, et, comme somme totale, 104 prix remportés.

La deuxième exposition générale de graines du Nord, à Sundsvall, 1882.

A cette exposition ont assisté 452 exposants avec environ 3000 échantillons de semences et de graines, 97 machines et appareils agricoles, 129 publications, livres et planches. Les prix étaient du nombre de 261.

La troisième exposition générale de graines du Nord, à Drontheim, 1887.

Là, le nombre des exposants montait à 540, celui des échantillons de graines et de semences était de 4000, celui des machines et appareils de nettoyage et de triage de 40. Le nombre des publications exposées, livres et planches, était de 39, celui des prix décernés de 310.

On verra, j'espère, par cet exposé succinct, que, dans le public, l'intérêt de ces expositions du Nord de graines et de semences s'est augmenté de plus en plus. Nul doute aussi que ces expositions n'aient

beaucoup contribué au relèvement de la culture des graines et des semences comme à l'exportation de semences des pays du Nord : — tous les exposants et visiteurs étaient d'accord sur ce point.

b. — **Stations d'essais de semences.**

Il y a en Suède 19 stations de cette sorte subventionnées par l'État et pour lesquelles, en date du 12 novembre 1886, le Gouvernement a publié un règlement. Selon l'article 1 de ce règlement (n° 78, *Recueil des Ordonnances royales,* année 1886), l'objet de ces stations est d'activer la culture indigène et le commerce de graines à force de donner des conseils et des renseignements, comme aussi par la recherche des graines les plus usuelles du commerce et par des indications sur leur valeur culturale.

Toute station sera placée sous la surveillance d'un comité, composé de 3 personnes au moins, qui, entre autres choses, nomme le directeur, toutefois seulement après que le Gouvernement a déclaré le candidat posséder les titres nécessaires pour occuper cet emploi.

Outre la recherche de graines, il incombe au directeur de faire des voyages dans la circonscription de la station pour donner des conseils et des renseignements sur les méthodes de culture, de nettoyage, etc., afin de gagner des semences irréprochables.

A l'instar de ce qui a lieu en Norvège, Finlande, Danemark et en Hongrie, quelques-unes des stations d'essais de semences font aussi le plombage pour les marchands grainiers. C'est surtout la station d'Örebro qui, à cet égard, exerce une vaste activité. Ce ne sera donc peut-être pas hors de propos de citer les points essentiels du règlement donné en date du 23 décembre 1885 par le comité de cet établissement.

Les semences, destinées à la culture dans le pays ou à l'étranger, qu'on désire expédier sous le plombage de la station, seront déclarées au directeur. Celui-ci, ou l'assistant de la station, se rendra alors au magasin ou au dépôt où est gardée la marchandise, pour la prise des échantillons. Jusqu'à ce que la recherche soit finie, la partie déclarée sera scellée ou mise sous clef.

A la prise des échantillons on procèdera comme suit :

a) *Prélèvement d'échantillons hors du tas.*

Le tas ayant été, en présence du contrôleur, soigneusement remué à la pelle, les échantillons y seront pris à différents endroits dont le nombre sera proportionné à la grandeur de la partie ou déterminé par d'autres circonstances. Toujours en sa présence, la partie sera mise en sacs qui seront fermés et scellés, en outre une marque en papier sera attachée au sceau indiquant : 1° nom de l'espèce de graine ; 2° marque de la partie ; 3° numéro du sac ; 4° contenu du sac en kilogrammes ; 5° nom et date.

Les échantillons prélevés seront mélangés pour former un échantillon général qui sera soumis à une recherche complète. Les résultats de cette recherche seront valables pour toute la partie prise du tas de graines.

b) *Prélèvement d'échantillons hors du sac.*

Puisque, par la seule inspection sur les lieux, on ne peut rien décider sur la faculté germinative des graines, ni sur le mélange de graines nuisibles, le contrôleur aura à faire la recherche sur chacun des sacs. Un échantillon moyen sera donc pris dans chaque sac après quoi il sera refermé et scellé. Durant le cours de la recherche, le sac, ou les sacs, restera sous le sceau de la station, ainsi qu'il vient d'être arrêté ci-dessus.

Qualités requises des semences pour obtenir le plombage de la station.

La recherche faite, le directeur de la station décidera, si, en conséquence des résultats obtenus, la partie de semences peut ou ne peut pas recevoir le plombage de la station.

Les qualités qui, à cet égard, seront prises en considération sont celles-ci :

La marchandise sera conforme aux chiffres de la valeur culturale des bonnes semences, fixés et publiés par les établissements de contrôle de la Suède et de l'étranger, en tenant compte en premier lieu,

de la pureté, du poids absolu, de la faculté germinative et de la provenance des semences.

Contenu et placement du certificat.

Le certificat du plombage renfermera : 1° nom de la station d'essais ; 2° personne pour qui le plombage a eu lieu ; 3° chiffre de l'analyse ; 4° nom de la marchandise ; 5° poids des graines en kilogrammes ; 6° date.

Résultats de la recherche : Poids absolu pour 1 000 graines, faculté germinative p. 100, graines « dures » p. 100, dont 1/3 est compté comme bonnes, graines d'autres plantes cultivées p. 100, matières indifférentes (sable, balles, graines gâtées, etc.) p. 100, graines de mauvaises herbes p. 100, nombre de graines plus nuisibles p. 10 000.

Le certificat sera attaché à la ficelle entre le nœud et le plomb.

Tenue des registres des semences analysées et plombées.

Le livre de magasins de semences et de grains doit renfermer tous les faits mentionnés dans le certificat, comme le nom et l'adresse du receveur de la marchandise, si tant est qu'on sache les donner, le nombre de sacs et le poids en kilogrammes.

La station saura donc en tout temps donner des renseignements sur les personnes qui auront fait plomber des semences, sur les quantités vendues, sur le nom des acheteurs et sous quelle adresse les marchandises en question auront été envoyées, au cas qu'on ait eu une déclaration à cet effet, comme aussi sur la qualité des marchandises soumises au plombage, de sorte que les fraudes pourront être facilement mises au jour et que le receveur de la marchandise plombée pourra se garantir contre tout abus.

Les 19 stations d'essais de semences de la Suède sont les suivantes :

TABLEAU.

	NOM de la station.	ADRESSE.	DIRECTEUR.
1	Stockholm	Stockholm	Olof Stjernquist.
2	Upsala	Upsala	Tom von Post.
3	Linköping	Linköping	C.-Ad. Blüm.
4	Jönköping	Jönköping	Dr C. O. von Porat.
5	Kalmar *	Kalmar	Dr Albert Atterberg.
6	Kristianstad	Kristianstad	Dr L.-J. Wahlstedt
7	Lund	Lund	Dr Bengt Jönsson.
8	Nydala	Halmstad	August Lyttkens.
9	Borås	Borås	A.-W. Essén.
10	Venersborg	Venersborg	Dr P.-G. Bergin.
11	Skara *	Skara	Oscar Nylander.
12	Örebro *	Örebro	C.-G. Zetterlund.
13	Vesterås *	Vesterås	Dr J.-O. Bergstrand.
14	Falun	Falun	Viktor Sandström.
15	Gefle	Gefle	Agathon Westman.
16	Hernösand *	Hernösand	C.-G. Strokirk.
17	Ope	Brunflo	J.-F. Broman.
18	Visby	Visby	Karl Kihlberg.
19	Luleå	Luleå	Vacante.

Les stations suivies d'un astérisque * sont en même temps Stations agronomiques (Stations chimiques de recherches pour toutes les questions intéressant l'agriculture et ses industries).

La Norvège compte 4 établissements de cette sorte, établis aux points essentiels, organisés de la même manière que ceux de la Suède.

Ce sont les suivants :

	NOM de la station.	ADRESSE.	DIRECTEUR.
1	Kristiania	Kristiania	Bastian Larsen.
2	Trondhjem	Trondhjem	Henrik Dahle.
3	Houg	Gjøvik	L.-P. Nilsen.
4	Hamar	Hamar	John Rud.

ÉTENDUE DE LA CULTURE DES SEMENCES ET LEUR EXPORTATION EN CES DERNIÈRES ANNÉES.

Froment.

On cultive dans les deux pays le blé d'automne et le blé de printemps. En Suède, le blé est surtout cultivé dans les parties méridionales et centrales (la Scanie, — l'Upland), en Norvège dans les préfectures de Smaalenene, de Jarlsberg et de Laurvik, d'Akershus, de Buskerud, de Bratsberg, de Nedenæs, de Lister et de Mandal.

Le blé trouvant son emploi principal dans la préparation du pain, c'est surtout la panification et la richesse en matières albuminoïdes qui en constituent la valeur.

Sa valeur pour la panification dépend, d'autre part, de la quantité, de la ténacité et de l'élasticité du gluten, enfin, de son pouvoir de lier le lait et l'eau.

Ce n'est qu'en ces dernières années qu'on a commencé à faire des recherches sur la teneur du blé en gluten. Nous donnons ci-dessous les résultats d'une partie des recherches sur la teneur du blé en gluten sec, faites à la station agronomique d'Örebro, en 1887.

PROVENANCE DU BLÉ.	NOMBRE d'échantillons analysés.	GLUTEN (SEC).		
		Moyenne.	Maximum.	Minimum.
(a) Blé d'automne.				
Préfecture d'Upsala	4	10,29	11,24	9,27
— de Stockholm	5	11,26	13,78	9,03
— de Södermanland. . . .	2	»	10,86	9,24
— d'Örebro	11	8,85	12,57	6,75
— de Skaraborg	1	9,44	»	»
— d'Elfsborg	1	6,17	»	»
— de Malmöhus	6	9,85	11,94	8,50
(b) Blé de printemps.				
Préfecture d'Upsala	1	10,30	»	»
— d'Östergötland.	1	11,47	»	»
— de Malmöhus	1	11,59	»	»

Ces recherches signalent, en effet, une très grande teneur en gluten. D'ailleurs, c'est un fait connu qu'un climat maritime ou insulaire produit des blés, pauvres en matières albuminoïdes, par conséquent, en gluten. Ainsi, l'Angleterre, le Danemark, l'Inde et les provinces baltiques produisent un blé pauvre en gluten et d'une valeur inférieure dans la panification, tandis que le blé de Russie et de Hongrie est très riche en gluten et possède une valeur considérable dans la préparation du pain.

L'exportation du blé en Suède, pendant l'année 1885, s'éleva à 1 718 440 kilogr. et en 1886 à 3 541 000 kilogr.

Des quantités exportées, je ne connais pas celles qui ont été employées comme semences, à l'exception des exportations des maisons commerciales qui ont placé leurs produits sous le contrôle « le plombage » des stations d'essais de semences.

Ces maisons sont :

C.-A. Hagendahl à Örebro qui, dans la période quinquennale 1883-1887, a exporté 10 311 kilogr. de blé de printemps.

Johan Kylberg à Skara qui, dans la période triennale 1885-1887, a exporté 77 000 kilogr. de blé d'automne.

La *Société de culture de semences de la préfecture d'Ostrogothie* qui, pendant les dernières années, a exporté 3 000 à 4 000 kilogr. et

Le *Comptoir de semences de la Scanie, à Malmö,* dont l'exportation, dans l'exercice de 1887, a été de 350 kilogr.

Les catalogues de la célèbre maison grainière Metz et Cie, à Steglitz, près Berlin, qui possède un champ de démonstration et de culture de blés améliorés, depuis 1884, renseignent aussi du blé de Suède, récolté entre 58°-59° latitude nord. Ce blé y est qualifié comme ayant les graines rougeâtres, les épis courts et « compacts » la radication vigoureuse, d'une grande rusticité et donnant un rendement allant jusqu'à seize pour un ; en outre, il n'est pas sujet à verser et donne une belle farine.

Prix en « sac originaux », c'est-à-dire dans les sacs de l'expéditeur, récolte suédoise, 32 marks pour 100 kilogr., à Berlin.

Seigle.

On cultive dans les deux pays le seigle d'automne et le seigle de printemps, principalement celui-là.

En Suède, le meilleur comme semence est celui d'Upland, de Kalmar et Vexiö, d'Ostrogothie, de Néricie (la paroisse de Fellingsbro et celles autour d'Askersund) et de la préfecture de Skaraborg et Kristianstad.

En Norvège, ce sont les préfectures de Smaalenene, de Jarlsberg et Laurvik, d'Akerhus, de Hedemark, de Buskerud, de Kristian et de Bratsberg qui produisent le plus de seigle.

L'exportation de seigle était pour la Suède de 1058088 kilogr. pendant l'exercice 1885 et de 801000 kilogr. pour 1886.

Sous le plombage des stations d'essais de semences, les maisons suivantes en ont exporté les quantités ci-dessous :

C.-A. Hagendahl à Örebro, dans les cinq années 1883-1887, 10839 kilogr. de seigle d'automne et 736 kilogr. de seigle de la Saint-Jean.

Johan Kylberg à Skara, dans les trois années 1885-1887, 125000 kilogr. et

Le *Comptoir de semences de la Scanie, à Malmö,* pendant l'exercice 1887, 4100 kilogr.

La maison précitée Metz et Cie offre aussi aux cultivateurs allemands des seigles de Suède pour semences tirés des parties centrales du pays — les préfectures de Skaraborg et de Bohus, — semences qui, les dernières années, ont donné, au dire de la maison, une satisfaction complète.

Cette maison vend aussi du seigle de Finlande qui a acquis un juste renom, à cause de sa rusticité et de son grand rendement.

De la Norvège, au contraire, on n'a pas encore, que je sache, exporté de seigle pour semences.

Orge.

Dans les deux pays on cultive différentes variétés, tant à deux qu'à six rangs.

Cette céréale est utilisée de diverses manières, par exemple comme malt dans les brasseries et les distilleries et comme matière alimentaire tant pour l'homme que pour le bétail.

L'orge étant destinée à remplir des buts si différents, doit posséder des qualités adaptées à chacun d'eux. Il ne sera donc pas hors de propos d'en donner quelques notices.

L'orge de brasserie par laquelle on entend le plus souvent l'orge à deux rangs Chevalier, pour être conforme aux besoins des brasseurs doit avoir les qualités suivantes :

Forme. Les graines doivent être bien pleines et courtes.

Couleur. La couleur sera claire, jaune de paille ou jaune pâle.

Le poids doit être élevé et pour l'hectolitre et pour 1 000 graines.

Pureté doit monter à près de 100 p. 100.

Faculté germinative et *énergie germinative :* au moins 90 p. 100 en 5×24 heures.

Farine. Dans l'intérieur les graines doivent être tendres au toucher.

Eau ne doit pas dépasser 16 p. 100.

Teneur en écorce ne s'élevant pas au delà de 9 à 10 p. 100.

Teneur en matières azotées ou protéiques peu fortes, au maximum 11 p. 100.

Les qualités recherchées dans l'orge, si elle doit servir d'aliment, sont les mêmes que les précitées, à la seule exception que comme telle elle doit être riche en albumine, car, dans ce cas, elle possède une valeur nutritive plus élevée.

La Suède.

En Suède, la culture de l'orge est très considérable et s'élève par an à plus de 5 millions d'hectolitres, dont environ $^1/_2$ million est exporté.

Les parties de la Suède produisant la meilleure orge sont : *l'île de Gotland, d'Öland,* les régions côtières de la *Scanie* et de *l'Ostrogothie,* les régions du *lac de Mälar.* Cela dépend du climat maritime ou insulaire et du terrain calcaire de ces régions. Comme nous venons de le dire, les brasseurs font le plus de cas de l'orge pauvre en matières albuminoïdes. Or, c'est par là que se distingue l'orge cultivée dans ces parties du pays. Dans l'île de Gotland, on récolte annuellement environ 300 000 hectolitres d'orge, dans la préfecture

de Malmöhus (Scanie) environ 1 1/2 millions d'hectolitres et dans l'île d'Öland environ 150 000 hectolitres.

Des maisons danoises font avec l'Angleterre un commerce assez considérable et très lucratif de l'orge de Scanie où elle est achetée comme orge de brasserie de première qualité.

Plusieurs des meilleures brasseries du Danemark, par exemple la célèbre brasserie de Carlsberg, à Copenhague, font venir leur provision de malt de Helsingborg en Scanie. C'est encore l'orge de Scanie que la brasserie de Karlshamn emploie pour sa bière et une exportation très considérable se fait à Tarragone, en Espagne. Voilà des faits qui donnent des preuves incontestables des qualités supérieures de l'orge de la Scanie.

L'orge de Gotland et d'Öland est surtout consommée par les brasseurs de Stockholm et de la Norvège, mais, la dernière année, des parties très considérables ont trouvé un débouché en Belgique et en d'autres pays.

L'orge de l'Ostrogothie et des environs du lac de Mälar est vendue aux brasseries suédoises et anglaises.

Sous le contrôle des stations agronomiques, les maisons mentionnées ci-dessous ont exporté pour semences les quantités d'orge suivantes :

C.-A. Hagendahl d'Örebro, dans la période quinquenale 1883-1887, 33 077 kilogr. d'orge à deux rangs et 9 634 kilogr. d'orge à six rangs.

Johan Kylbèrg de Skara, dans la période triennale 1885-1887, 102 000 kilogr. d'orge à deux rangs.

Carl Lindahl de Vingåker, en 1886, 655 500 kilogr.

M. le Consul A. Hansson de Helsingborg, en 1887, 5 000 kilogr.

Le Comptoir de semences de la Scanie, à Malmö, pendant l'exercice 1887, 5 000 kilogr.

A l'exposition de Drontheim, en 1887, il y avait une très riche collection d'orge à deux rangs à laquelle avait participé non seulement la Suède, mais aussi la Norvège et le Danemark. Je me permets de consigner les moyennes, les maxima et les minima des chiffres indiqués par le catalogue de l'exposition et en même temps les provinces d'où provenaient les échantillons.

PROVENANCE.	NOMBRE d'échantillons examinés.	POIDS de l'hectolitre en kilog.			POIDS de 1 000 graines en grammes.			PURETÉ p. 100.			FACULTÉ germinative p. 100.			EAU P. 100.			MATIÈRES azotées ou protéiques p. 100.			TENEUR en écorce p. 100.		
		Moyenne.	Maximum.	Minimum.	Moyenne.	Maximum.	Minimum.	Moyenne.	Maximum.	Minimum.	Moyenne.	Maximum.	Minimum.	Moyenne.	Maximum.	Minimum.	Moyenne.	Maximum.	Minimum.	Moyenne.	Maximum.	Minimum.
Orge de brasserie de Suède.																						
Province de Scanie	32	72,2	74,6	70,1	48,7	54,3	43,1	99.5	99.9	98.2	98	100	94	14.29	17.46	10.95	8.45	9.25	5.99	6.93	8.10	6.16
— de l'île de Gotland	34	72,7	74,2	70,6	46,6	58,5	40,3	96.5	99.8	86.8	97	100	93	14.07	16.44	11.00	8.51	11.06	7.25	7.09	8.23	6.10
— de l'île d'Öland.	15	71,1	73,9	69,8	47,3	56,6	40,9	97.2	99.9	91.6	97	100	90	14.26	15.93	13.36	7.89	9.00	7.50	6.90	7.82	6.10
— de Blekinge et de Småland.	4	72,1	73,3	70,7	46,9	48,8	44,0	98.7	99.2	98.0	97	99	95	13.94	14.34	13.39	8.19	8.75	7.38	7.14	7.46	7.04
— d'Ostrogothie.	8	73,8	74,5	71,5	53,1	56,3	48,0	99.6	99.9	99.2	98	100	97	13.94	16.29	10.80	9.55	10.25	8.75	6.89	7.22	6.54
— de Vestrogothie.	9	71,7	75,5	69,0	52,2	61,0	44,0	99.4	99.8	98.2	93	99	82	15.80	16.90	13.61	8.51	8.95	8.12	7.01	7.63	6.12
— de Néricie	25	70,7	73,8	67,3	53,7	68,6	43,2	98.1	99.8	90.9	97	100	91	15.04	17.39	12.85	9.36	11.00	8.00	7.02	7.87	6.04
— de Sudermanie.	3	72,1	73,3	70,8	56,2	60,2	51,9	99 2	99.9	98.0	99	99	99	14.34	16.08	13.10	9.75	10.00	9.50	6.70	6.96	6.45
— d'Upland.	11	69,3	71,8	66,2	50,6	58,6	43,7	97.2	99.9	86.0	96	100	82	15.02	16.79	12.15	9.41	11.75	7.65	7.35	8.39	6.57
Préfecture de Vesternorrland. . . .	4	67,7	68,2	65,1	50,8	58,7	45,3	99.6	99.9	99.1	94	100	82	13.68	16.50	12.03	11.03	13.13	9.00	8.60	10.10	8.00
	145																					
Orge de brasserie de Danemark. (*Cellulose brute.*)																						
Collection du comité pour orge de brasserie de la société royale d'agriculture, fournie par 46 différents cultivateurs du Danemark	46	72,3	74,5	70,2	50,07	58,3	45,6	99.5	99.9	97.0	98	100	95	14.66	15.85	13.55	9.25	10.37	7.62	3.25	3.67	3.00

A ces recherches, j'ajouterai les remarques suivantes:

A l'exception des 4 échantillons du Norrland occidental, recherchés à Hernösand, tous les échantillons suédois d'orge ont été analysés à la station agronomique d'Örebro. Ceux du Danemark étaient contrôlés au laboratoire de M. le professeur V. Stein, à Copenhague.

Parmi les échantillons de l'Ostrogothie, de la Vestrogothie, de la Néricie, de la Sudermanie et de l'Upland il y avait beaucoup d'orge à deux rangs d'Italie (*imperialkorn*) et, en outre, des mélanges de celle-ci et de l'orge à deux rangs Chevalier. Bien qu'il n'y ait pas d'indication à cet effet, il n'y a nul doute que les 4 échantillons du Norrland occidental ne soient de l'orge à deux rangs d'Italie, puisque l'orge à deux rangs Chevalier, à cause de sa période végétative plus longue, ne pourra guère arriver à la maturité sous une latitude si septentrionale.

En Danemark, on s'est occupé d'améliorer l'orge depuis 1883 et l'État y a concouru par une subvention annuelle de 5000 couronnes. Les expositions annuelles y ont aussi fortement aidé. Les échantillons exposés à Drontheim étaient choisis parmi ceux de l'exposition d'orge pour les brasseries qui avait eu lieu à Copenhague en automne 1886.

En Suède, au contraire, on n'a rien fait pour l'amélioration ni de l'orge, ni des autres grains, et jusqu'ici, l'État n'a pas non plus contribué pour un centime à l'amélioration de l'orge du pays.

Quant aux expositions d'orge de brasserie, ce n'est que la société royale d'économie de la préfecture d'Örebro qui y a pensé. Cette société en a organisé trois, en 1884, 1887 et 1888.

Les 145 échantillons d'orge suédoise représentent, somme toute, une partie de plus de 200000 hectolitres. Quant à l'orge danoise, il n'y a point de données sur la quantité que les échantillons représentent.

En comparant les recherches sur les échantillons suédois et danois, il ressort quelques circonstances dignes d'une mention particulière.

Les échantillons d'orge de la Suède centrale et méridionale n'égalent pas seulement, mais surpassent même ceux du Danemark à l'égard de la faculté germinative et du poids et ont, en moyenne,

une teneur moins forte en matières azotées et eau, qualités fort estimées par les brasseurs. D'un autre côté, on pourrait avec raison relever le défaut d'un nettoyage bien soigneux chez les échantillons arrivés de Gotland, d'Öland, d'Upland, de Néricie, de Blekinge et de Småland, chose bien regrettable, c'est vrai, mais à laquelle on pourra aisément remédier dans l'avenir.

Les récompenses décernées à l'orge de brasserie de la Suède, à l'exposition de Drontheim, montrent que ses qualités supérieures ont été hautement appréciées. Ainsi, l'exhibition des échantillons d'orge de la Suède, dans sa totalité, a remporté l'un des grands prix, celui de la médaille d'or, donné à M. Cederberg, d'Örebro, qui avait réuni et arrangé la collection. Aux différents exposants on y décerna 5 premiers, 12 deuxièmes, 16 troisièmes et 12 quatrièmes prix.

Les 46 échantillons exposés par la société royale agricole du Danemark remportèrent l'un des grands prix, la médaille d'or.

La Norvège.

Eu égard au peu d'étendue de la terre emblavée et aux habitants peu nombreux de la Norvège, sa production d'orge est très considérable, soit une récolte annuelle d'environ 1 500 000 hectolitres.

C'est que les Norvégiens ont une grande prédilection pour l'orge comme nourriture, de sorte qu'elle est employée comme telle sur une échelle bien plus grande que dans aucun autre pays. Dans la partie méridionale, on cultive presque exclusivement l'orge à deux rangs d'Italie comme la plus propre pour en faire du gruau; dans le reste du pays, c'est l'orge à six rangs qui est la plus commune.

En Norvège, la fabrication des bières est, comme on le sait, poussée à un haut degré de développement, de sorte qu'elle ne satisfait pas seulement aux besoins du pays, mais devient l'objet d'une exportation très considérable, exportation qui, pendant les dernières années, a été 1 120 782 litres, en 1885, et 2 709 265 litres, en 1878. Or, comme il faut employer l'orge à deux rangs Chevalier pour obtenir une bonne bière, il s'ensuit que l'importation de cette espèce d'orge doit être assez grande. Dans la dernière période décennale,

l'importation annuelle a été par exemple 692 588 hectolitres, en 1885, et 698 485 hectolitres en 1876.

Présentement on ne pourra donc parler uniquement d'une culture d'orge Chevalier, mais davantage même d'une culture d'orge à deux rangs d'Italie et d'orge à six rangs, laquelle est arrivée à un développement très considérable.

L'orge à deux rangs d'Italie a les graines très grosses, l'enveloppe mince, l'emportant à cet égard sur la plupart des espèces d'orge d'autres pays, ce qui la rend très recherchée dans la fabrication du gruau et de la farine. En outre, elle a une couleur claire, une cassure bleu pâle, couleur à laquelle les meuniers attachent un grand prix, puisque la farine devient blanche et belle.

J'ai sous les yeux 34 analyses d'orge de Norvège, faites par M. Frédéric H. Werenskiold, chimiste agricole de l'État ; adresse : Aas près Dröbak. Ces recherches montrent les résultats suivants :

a. — **Orge à deux rangs d'Italie.**

	MATIÈRES amylacées et sucrées.	MATIÈRES azotées.
	P. 100.	P. 100.
De Drontheim	57.38	»
De Hedemarken	57.98	10.31

b. — **Orge à six rangs.**

	EAU.	MATIÈRES azotées.	CELLULOSE.	MATIÈRES amylacées et sucrées.	MATIÈRES grasses.	CENDRES.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
De Drontheim	14.38	10.81	3.50	66.27	1.86	3.18
	14.80	10.63	3.73	65.74	1.82	3.28

Pour les 30 autres échantillons d'orge à six rangs, l'analyse ne renseigne que sur les matières amylacées et sucrées et la protéine. Les résultats de ces recherches sont les suivants :

	MATIÈRES amylacées et sucrées.	MATIÈRES azotées.
	P. 100.	P. 100.
Moyenne	58.8	9.52
Maximum	60.9	11.25
Minimum	57.2	7.94

La société agricole de la préfecture de Hedemarken, pour une exhibition de 30 échantillons d'orge, a obtenu un grand prix, la médaille d'or, les autres exposants norvégiens ont eu 2 premiers, 5 deuxièmes, 8 troisièmes et 35 quatrièmes prix.

Avoine.

En Suède et en Norvège, l'avoine occupe la première place parmi les récoltes. Dans les quatre années 1882-1885, la récolte moyenne annuelle d'avoine en Suède était portée à environ 18 414 000 hectolitres et en Norvège à environ 3 300 000 hectolitres. De ces quantités, comme on le voit ci-dessous, les deux pays ont fait une exportation très considérable.

	EXPORTATION	
	de la Suède.	de la Norvège.
	Kilogr.	Kilogr.
En 1881	194 305 405	6 358 177
En 1882	252 833 023	4 911 504
En 1883	272 500 521	5 839 579
En 1884	176 820 485	5 386 614
En 1885	233 323 710	7 562 504

La Suède.

Le chiffre total de l'avoine exportée, employée à l'étranger comme semences, ne saurait être même approximativement indiqué. Les quantités envoyées comme telles à l'étranger sous le plombage des stations sont, par conséquent, les seules qui puissent être constatées.

M. *M. Öhman fils et Cie*, à Stockholm, en 1886, ont exporté 1 660 901 kilogr.

M. *C.-A. Hagendahl, à Örebro,* dans la période quinquennale 1883-1887, a exporté 21 354 kilogr. d'avoine noire (*Avena sativa nigra*) et 41 386 kilogr. d'avoine blanche (*Avena sativa*).

Johan Kylberg, à Skara, dans les quatorze années 1874-1887, est arrivé à une exportation de 2 106 400 kilogr.

M. Kylberg, pendant ces quatorze années, a eu à se réjouir d'un accroissement considérable de son exportation. Ne montant, en 1874, qu'à 10 000 kilogr., en 1887, elle s'est élevée à 450 000 kilogr.

M. Kylberg, comme on le sait, est le seul marchand grainier de notre pays qui, sur une échelle un peu considérable, ait fait de la culture et de l'amélioration de l'avoine pour semences sa spécialité, et dans cette spécialité il a acquis une renommée européenne.

M. *E. von Greyerz de Tofthög, près Skifvarp,* pendant les trois années 1884-1886, en a exporté 120 000 kilogr.

C'est un fait généralement reconnu que l'avoine de Suède comme celle de Norvège, se distingue par son poids naturel très élevé, ses grosses graines et ses enveloppes minces de même que par sa grande teneur en matières azotées et grasses, qualités qui la rendent très recherchée comme nourriture et comme fourrage. Comme semence elle se signale par une grande vigueur par rapport aux conditions climatologiques ou météorologiques défavorables, par sa précocité et son rendement élevé.

La Norvège.

Comme il n'y a pas de renseignements accessibles sur l'avoine soumise aux recherches des stations agronomiques de la Norvège, je ne saurais dire combien d'avoine de son exportation a été employée comme semences. Vu les qualités supérieures de l'avoine blanche de Norvège, il est à présumer qu'elle a eu un tel emploi.

La variété d'avoine le plus cultivée en Norvège est l'avoine blanche dont il y a deux sortes :

1° L'avoine potate (*Avena sativa var.* Drontheim, en Norvège, *Norsk Trindhavre*);

2° L'avoine améliorée (*Forædlede hvidhavresorter*).

L'avoine potate de la préfecture de Drontheim occupe une place bien marquante parmi les variétés d'avoine. Elle a les graines bien pleines et grosses, l'enveloppe mince et un poids naturel (de l'hectolitre) très élevé, 55-56 kilogr., par conséquent, elle est plus pesante que l'avoine de Probstei qui ne s'élève que très rarement au-dessus d'un poids de 52-53 kilogr. pour l'hectolitre.

Dans son excellente avoine, la Norvège septentrionale possède un vrai trésor et elle doit tout faire pour la maintenir sans mélange avec des avoines étrangères. Elle doit plutôt chercher à l'améliorer

encore par un choix rigoureux et un triage des plus soigneux des semences.

En écrivant ceci, il m'arrive très à propos un mémoire sur l'avoine de la Norvège, écrit par le directeur de la station agronomique de Kalmar, le Dr Albert Atterberg. Cet éminent connaisseur des avoines et de l'orge, membre du jury de l'exposition de semences au 3e congrès général du Nord, à Drontheim, en 1887, a soumis les échantillons d'avoines de différentes variétés exposés par divers pays, à une recherche très scrupuleuse. Il vient de publier les résultats très intéressants de ses recherches dans *Norsk Landmansblad,* année 1887, p. 412, sous le titre de *Norges Havrevarieteter, saledes som de fandtes på den Nordiske Froudstilling i Trondhjem 1887.* (Les variétés d'avoines de l'exposition de Drontheim.)

M. Atterberg montre que de toutes les avoines exposées l'avoine potate de Drontheim avait les graines les plus grosses et l'enveloppe la plus mince et que les trois variétés principales norvégiennes l'emportaient à cet égard sur toutes celles des pays voisins. A en juger par les analyses de M. Atterberg des échantillons de trèfle rouge (*Trifolium pratense*) et de fléole (*Phleum pratense*) récoltés en Norvège, les graines auraient un poids naturel considérablement plus élevé que celle des mêmes espèces récoltées en Suède. C'est évidemment la même loi physiologique qui donne à différentes espèces de graines suédoises un poids plus élevé qu'aux allemandes et qui est cause que le trèfle rouge de la Suède moyenne pèse plus que celui de la Suède méridionale ; la même loi, enfin, qui nous a fait constater que les régions montagneuses de l'Allemagne peuvent produire des graines de trèfle rouge tout aussi grosses que les meilleures de la Suède, tandis que celles des plaines de l'Allemagne ont, en général, un poids bien inférieur (poids absolu peu élevé pour 1 000 graines)[1].

Quant aux variétés améliorées de l'avoine blanche, elles appartiennent presque exclusivement au sud du pays. Le poids, 60 kilogr.

---

1. Voir : *Et bidrag til belysning af sporsmålet om udenlandske havresorters udvikling ved dyrkning her i landet,* inséré dans le journal précité, n° 13, 28 mars 1888, p. 102 seq.

pour l'hectolitre, la grosseur des graines, l'enveloppe mince, la couleur et la forme, assignent un rang bien haut à ces espèces et les placent bien au-dessus de l'avoine blanche de la Suède.

La Norvège compte beaucoup de cultivateurs d'avoine très méritants parmi lesquels je crois devoir tout spécialement signaler M. Ole Richter, Mæle, près Stjørdalen, M. Håkon Hermandrud, à Toten et Rotvolds Asyl, près Drontheim.

Il serait fort à désirer qu'on organisât une société d'exportation des semences norvégiennes, qui aurait pour but de travailler à la culture d'avoines pures et sans mélanges. Toutes les espèces d'avoine cultivées en Norvège seraient sans doute d'un bon débit à l'étranger, surtout en Suède.

Comme une source éprouvée d'où l'on pourra obtenir l'excellente avoine de Drontheim, je veux recommander la maison grainière de *M. Johannes Midelfart, à Drontheim.*

Légumineuses.

Pois.

La récolte annuelle de pois en Suède s'élève à environ 500 000 hectolitres et, en Norvège, à environ 90 000 hectolitres.

Les espèces les plus recherchées sont les pois jaunes ou Victoria de la Sudermanie (Suède) et les pois gris des préfectures de Hedemarken et de Kristian (Norvège).

M. *C.-A. Hagendahl d'Örebro,* dans la période quinquennale 1883-1887, a exporté 6 977 kilogr. de pois et

M. *Johan Kylberg de Skara,* 1885-1887, 90 000 kilogr.

M. *O. Flodin d'Örebro,* pendant les dernières années, en a aussi envoyé sur les marchés étrangers des quantités très considérables.

On pourra prédire sans crainte de se tromper qu'aussitôt que les pois gris des préfectures de Hedemarken et de Kristian seront connus à l'étranger, ils y trouveront un débit prompt et avantageux.

A l'abri de la nuisible bruche de pois (*Bruchus pisi*) et très précoces, les pois de la Norvège et de la Suède fourniraient une contribution précieuse aux provisions de très bonnes semences.

Fèves.

En Suède, surtout dans la préfecture de Bohus et la partie septentrionale du Halland, la récolte annuelle de fèves monte à 100 000 hectolitres.

M. C.-A. Hagendahl, d'Örebro, dans l'année 1884, a exporté 559 kilogr. de fèves.

Vesces.

La récolte moyenne en Suède est d'environ 350 000 hectolitres.

L'exportation de M. C.-A. Hagendahl, à Örebro, de 1883 à 1887, était de 17 988 kilogr., celle de M. Johan Kylberg, à Skara, de 1885 à 1887, 120 000 kilogr.

Les dernières années, M. O. Flodin, à Örebro, a aussi envoyé des quantités assez considérables de graines de vesces à l'étranger.

Graines de trèfles et de graminées.

Ces espèces de graines, à raison de leurs qualités supérieures, amènent une exportation très considérable et de la Suède et de la Norvège. En 1885, cette exportation était pour la Suède 315 302 kilogr.

Les quantités exportées par des maisons connues, suédoises et norvégiennes, sont les suivantes :

M. Albert Björkman, à Stockholm, de 1883 à 1885, 36 950 kilogr. de graines de trèfles.

Le comptoir de semences de Stockholm, en 1883, 3,000 kilogr. de graines du trèfle d'Alsike.

MM. Remahl et Planthaber, à Stockholm, 2 000 kilogr. de graines de trèfles et de graminées par an, de 1880 à 1887.

M. C.-A. Hagendahl, à Örebro, dans la période quinquennale 1883-1887, 49 768 kilogr. de graines de trèfle d'Alsike, 34 550 kilogr. de graines du trèfle rouge, 4 853 kilogr. de graines de trèfle blanc et 490 kilogr. d'autres de la même espèce.

M. Johan Kylberg, à Skara, pendant les trois dernières années, 12 000 kilogr. de graines de trèfles et de graminées.

La société d'horticulture de Gothembourg, en 1887, 33 500 kilogr. de graines de trèfles et de graminées.

Le Comptoir de semences de la Scanie, à Malmö, en 1887, 12 450 kilogr. de graines et de trèfles et de graminées.

MM. P.-M. et H. Hveem, l'établissement pour le nettoyage de semences de Hveem, Toten de l'Est, pendant chacune des années 1884-1887, 700 kilogr. de graines du trèfle rouge, var. Toten[1].

M. L.-P. Nilsen, Houg, près Gjøvik, pendant les trois dernières années, 1 000 à 2 000 kilogr. par an de graines de trèfles et de graminées.

M. O. Imerslun, Storimerslund, près Hamar, en 1885 1 500 et, en 1887, 1 800 kilogr. de graines du trèfle de Toten.

L'établissement pour le nettoyage des semences de MM. H.-C. Indal et C[ie], à Gjøvik, en 1886, 200 kilogr. et en 1887, 2 000 kilogr. de graines de trèfle de Toten, la totalité comme exportation à la Suède, au Danemark, à l'Allemagne, à la Finlande et à la Russie.

On aura à chercher la cause de l'exportation si peu développée de la Norvège, en comparaison avec celle de la Suède, dans la circonstance que ce n'est que pendant les dernières années que la culture de semences y est devenue de quelque importance, tandis que, en Suède, elle a continué depuis plusieurs années. Dernièrement, comme nous venons de le dire, on a créé des établissements réguliers pour le nettoyage de semences dans la sous-préfecture de Toten et de Hedemarken, qui ont déjà obtenu de très bons résultats. Dans l'établissement de Hveem, par exemple, il y a en moyenne un nettoyage annuel d'environ 20 000 kilogr.

Quant aux *graines de graminées,* les exportations sur lesquelles j'ai pu obtenir des renseignements exacts sont les suivantes :

Le Comptoir de semences de Stockholm, pendant l'année 1883, a eu une exportation de 2 500 kilogr. de graines de vulpin (*Alopecurus pratensis*).

M. Albert Björkman, à Stockholm, pendant les trois années 1883-1885, a exporté 167 553 kilogr. de graines de fléole.

M. C.-A. Hagendahl, à Örebro, dans le cours des cinq années

1. Toten, sous-préfecture (fogderi) de la préfecture de Kristian.

1883-1887, 142 364 kilogr. de graines de fléole et 8 834 kilogr. de graines de différentes graminées.

M. O. Flodin, à Örebro, maison succursale à Enköping, depuis plusieurs années conduit une exportation très considérable de graines de fléole.

Plantes racines.

Les exportations de graines de cette espèce qui me sont connues sont les suivantes :

Par le Comptoir de semences de Stockholm, de 1884 à 1886, 3 595 kilogr. de graines de chou-navet (*Swedish turnips*).

Par M. C.-A. Hagendahl d'Örebro, pendant les années 1884-1887, 63 kilogr. de graines de betteraves (*Beta vulg. saccharifera*).

Depuis des années M. C. Tranchell, de Landskrona, a aussi exporté des graines de betteraves.

Plantes potagères.

Dans les dernières années, la culture de graines de plantes potagères s'est développée, en Suède comme en Norvège, d'une manière bien considérable.

On a reconnu depuis longtemps que les graines des plantes potagères, cultivées jusqu'ici dans les parties moyennes et méridionales de la Suède, ont été d'une qualité supérieure, mais, par les dernières expositions, on a pu constater que de bonnes graines peuvent être produites sous une si haute latitude que celle de la ville de Luleå (65° 10′).

Graines forestières.

Bien que la consommation de cette espèce de graines dans les pays du Nord soit très grande et la provision très faible, en comparaison de ce qu'elle pourrait être, les dernières années montrent pourtant une exportation, et de la Suède et de la Norvège.

M. Taflin et Cie, l'établissement pour la dessiccation et le nettoyage des graines forestières d'Östersund, les dernières années, a eu une exportation annuelle d'environ 500 kilogr.

L'établissement de Vallox-Säby, près Knifsta, 200 kilogr. de graines du pin sylvestre.

Le Comptoir de semences de Stockholm, pendant les années 1883 et 1884, 1 300 kilogr. de graines de pin sylvestre, en 1884 et 1886, 450 kilogr. de graines de sapin.

L'établissement de MM. Ekström et Forsberg, à Örebro, pendant les trois dernières années, 1 800 à 2 000 kilogr. par an de graines de pin sylvestre et environ 1 000 kilogr. de graines de sapin.

M. le comte Knut Posse, Bergqvara près Reppe, pendant les trois années 1885-1887, a exporté 2 700 kilogr. de graines de pin sylvestre et 1 384 kilogr. de graines de sapin.

Quant à l'exportation de graines forestières de la Norvège, chacun des trois établissements précités, pendant les dernières années, a fourni des quantités assez considérables.

APPENDICE

Blé d'automne.

M. le professeur A. Leydhecker qui, depuis des années, a institué des essais culturaux en Autriche avec des variétés de blé en a aussi fait avec du blé dit de Vingåker, paroisse en Sudermanie. Il a publié les résultats obtenus dans *Oesterreichisches landw. Wochenblatt,* Jahrgang 1887, n° 22, sous le titre de *Ueber Anbauversuche mit Winterweizen,* reproduit dans *Biedermanns Central-Blatt für Agricultur-Chemie,* XVI[er] Jahrg. 1887, page 458 et suivantes. Il y dit : « Le blé suédois de Sudermanie s'est montré une variété précoce et vigoureuse. Il a toujours très bien résisté à l'hiver, sa radication a été très forte et il a été rarement et peu sujet à la carie et à la rouille. »

Toutes les années le rendement était très satisfaisant, la récolte moyenne en graines était de 18qx,75 à l'hectare. On évalue la récolte moyenne du blé à 15-17qx,5.

Blé de printemps.

M. le secrétaire général H. Putensen de Hildesheim, dans *Hannoverisches Land- und Forstwirthschaftliches Vereinsblatt,* n° 14, 4 avril 1885, expose des essais très heureux avec du blé suédois faits en comparaison avec du blé allemand dans les domaines de Liebenburg et de Ringelheim, en 1883 et 1884.

Avoine.

Parmi le nombre d'essais de bonne réussite avec l'avoine suédoise, je me permets de citer le suivant. M. le D[r] Liebscher, de Iena, pendant les dernières années, a fait des essais culturaux avec des

céréales suédoises ; les résultats ont été rapportés dans *Mittheilungen der Grossherzoglich Sächsischen Lehranstalt für Landwirthe an der Universität Iena.* Il en résulte que l'avoine blanche et l'avoine noire de Turquie, provenant de Suède, étaient supérieures de beaucoup à celles d'Allemagne comme graines et un peu comme paille.

A l'occasion de la *Wanderversammlung der deutschen Landw. Gesellschaft zu Dresden,* en 1886, on avait mis à l'étude la question sur la *Bedeutung der Zucht neuer Kultur-Varieteten und eines besseren Samenwechsels für die Landwirthschaft.* M. le Dr Calberla, de Hirschfeld, près Deutschenbora, ouvrant la discussion, a montré que la valeur supérieure d'une semence dépendait surtout de la grosseur des graines, que, dans ce cas, elles contenaient pour la jeune plante une plus grande richesse en nourriture qu'une graine plus petite, et qu'une latitude plus septentrionale ou un habitat plus élevé au-dessus de la mer produit des graines plus lourdes et plus grandes.

A ce congrès, M. F. Heine de Emersleben, près Gross-Quenstedt en Saxe, propriétaire, qui s'est voué à l'amélioration de semences, en s'appuyant sur une expérience de plusieurs années, a vivement recommandé les grains suédois comme semences en Allemagne. (*Deutsche Landwirthschaftliche Presse,* n° 54, le 7 juillet 1886.)

Dans son catalogue de la présente année le cultivateur si méritant de semences, M. Herman Rimpau, d'Anderbeck, près Badersleben, parmi d'autres variétés d'avoine supérieures, relève aussi les suédoises qu'il recommande beaucoup et qu'il offre au prix de 190 marcs p. 1 000 kilogr. La maison grainière Metz et Cie, à Steglitz-Berlin, offre aussi de l'avoine noire de Suède.

Des essais culturaux avec du blé et du seigle d'automne, tirés des provinces de Néricie et de Sudermanie, en cours d'exécution en France.

A la IIIe exposition générale du Nord, à Drontheim, 1887, la maison Engelbrektson Hallgren d'Örebro avait assisté avec une exposition collective de 56 échantillons de blé d'automne, de 8 échantillons

de blé de printemps et de 25 échantillons de seigle d'automne, ou d'un ensemble de 89 échantillons. Tous les échantillons avaient été analysés, au point de vue botanique et chimique, à la station agronomique et d'essais de semences d'Örebro. Les échantillons exposés étaient accompagnés de catalogues donnant les *résultats* obtenus et les *méthodes* employées à la recherche, la *valeur nutritive* des grains et leur *valeur pour la panification*. En outre, pour établir une comparaison, les résultats des recherches sur les céréales par M. le Dr J. König, tirés de son œuvre *Die menschlichen Nahrungs- und Genussmittel*. 2,000 exemplaires de ce catalogue ont été distribués gratis aux membres du jury et de l'exposition.

L'exposition de MM. Engelbrektson Hallgren a gagné l'attention et l'approbation générales, de sorte qu'on lui décerna la médaille d'or.

Parmi les membres de l'exposition figurait M. E. Schribaux, délégué du Ministère d'agriculture de France. A son retour à Paris, l'automne 1887, M. Schribaux s'est adressé à MM. Engelbrektson Hallgren pour se procurer du blé et du seigle dans le but d'en instituer des essais culturaux en France.

Les résultats des recherches sur ces grains, faites à la station agronomique et d'essais de semences d'Örebro, sont consignés dans le tableau que voici.

TABLEAU.

Recherches sur le blé et le seigle envoyés, l'automne 1887, par MM. Engelbrektson Hallgren d'Örebro à M. E. Schribaux, directeur de la station d'essais de semences de l'État à Paris, pour instituer des essais culturaux à l'institut agricole de Joinville-le-Pont (Seine).

COMPOSITION CHIMIQUE et unités de valeur nutritive [1].	BLÉ D'AUTOMNE								SEIGLE D'AUTOMNE							
	d'Ekeberg.		de Hjelmarsnäs.		de Bärsta.		de Vingåker.		de Bärsta.		de Kjesäter.		de Julita.		de Vingåker.	
	P. 100.	Unités de valeur nutritive.	P. 100.	Unités de valeur nutritive.	P. 100.	Unités de valeur nutritive.	P. 100.	Unités de valeur nutritive.	P. 100.	Unités de valeur nutritive.	P. 100.	Unités de valeur nutritive.	P. 100.	Unités de valeur nutritive.	P. 100.	Unités de valeur nutritive.
Teneur en :																
Eau	14.75	»	14.53	»	14.62	»	15.41	»	13.68	»	13.87	»	15.03	»	15.95	»
Matières minérales (cendres)	1.31	»	1.42	»	1.48	»	1.60	»	1.74	»	1.50	»	1.78	»	1.44	»
Cellulose	2.08	»	2.59	»	2.63	»	1.90	»	1.90	»	1.90	»	2.10	»	2.00	»
Matières amylacées et sucrées [2]	68.82	68,82	69.12	69,12	67.76	67,76	69.39	69,39	71.77	71,77	70.77	70,77	70.47	70,47	70.42	70,42
Matières grasses	1.67	5,01	1.72	5,16	1.91	5,73	1.70	5,10	1.66	4,98	1.96	5,88	1.62	4,86	1.44	4,32
Matières azotées ou protéiques	11.37	56,85	10.62	53,10	11.37	56,85	10.00	50,00	9.25	46,25	10.00	50,00	9.00	45,00	8.75	43,75
Total	100.00	130,68	100.00	127,38	100.00	130,34	100.00	124,49	100.00	125,00	100.00	126,65	100.00	120,33	100.00	118,49
Rendement en farines et en sons après trituration.																
Farines passées par le blutoir nº 10, poussières [2]	68 p. 100		67 p. 100		65 p. 100		70 p. 100		74 p. 100		65 p. 100		68 p. 100		65 p. 100	
Sons restés sur le blutoir	32 —		33 —		35 —		30 —		26 —		35 —		32 —		35 —	
Total	100 p. 100		100 p. 100		100 p. 100		100 p. 100		100 p. 100		100 p. 100		100 p. 100		100 p. 100	
Recherches botaniques et caractères extérieurs.																
Poids de l'hectolitre . . . kilogr.	79,77		79,77		78,11		78,42		75,90		72,87		72,45		73,29	
Poids de 1000 graines . . . grammes	34,13		34,52		25,28		36,31		25,23		23,50		23,54		24,48	
Pureté . . . p. 100.	98.00		99.00		98.30		98.70		92.00		98.20		99.40		96.90	
Faculté germinative . . . —	99.00		96.00		97.00		96.00		95.50		97.00		98.00		97.00	
Couleur des graines	Rougeâtre.		Rougeâtre.		Rougeâtre.		Blanche.									
Qualité intérieure des graines	Demi-dure.		Demi-dure.		Demi-dure.		Farineuse.									
Valeur des farines pour la panification [3]	19		27		19		12 1/2		12 1/2		9		15 1/2		9 1/2	
Teneur des farines en gluten humide	31.28 p. 100		29.48 p. 100		28.24 p. 100		21.22 p. 100									
— — sec.	9.22 —		8.72 —		9.03 —		8.27 —									
Couleur du gluten humide	Grisâtre.		Grise.		Grise.		Grise.									

1. Par l'expression « unités de valeur nutritive » on comprend la somme obtenue par l'addition de la quantité des matières amylacées à trois fois la teneur en matières grasses et cinq fois la teneur en matières azotées. Car les matières amylacées, grasses et azotées sont comme 1 : 3 : 5.
2. Déterminées par différence.
3. La valeur des farines pour la panification est déterminée à l'aide de l'appareil dit Farinomètre de M. J.-A. Küster à Vienne.

Norvège.

Pour l'année budgétaire du 1er juillet 1888 au 30 juin 1889, l'État de Norvège a alloué une subvention de 500 couronnes pour instituer des essais culturaux avec des plantes médicinales indigènes et exotiques à l'institut supérieur d'agriculture d'Aas, près de la station du chemin de fer d'Aas et à peu de distance de la ville de Dröbak, sur la rive du fjord de Christiania.

Comme cet institut a des chimistes et des botanistes et qu'en outre le chimiste agricole de l'État, M. Werenskiold, y a sa station, toutes les conditions sont remplies pour qu'on puisse prévoir que les recherches seront conduites d'une manière vraiment scientifique.

Cette mesure du gouvernement norvégien est de nature à causer une vive satisfaction parmi les amis de la science expérimentale, car, que je sache, ce n'est que la station agronomique expérimentale impériale-royale de Vienne à laquelle, en vertu du premier paragraphe, article 6 du règlement de 1870, de telles recherches ont été enjointes.

La Société de culture de semences d'Ostrogothie.

Cette Société est la première de ce genre comme aussi la plus marquante de la Scandinavie. Elle date du 18 avril 1879, jour où son règlement fut adopté.

Divisée en 18 « kretsar » (cercles) elle compte 245 membres intérieurs et 8 membres extérieurs.

Ses affaires sont administrées par une direction de 5 personnes qui choisissent parmi elles le président, le vice-président, le secrétaire et l'agent comptable.

Le fondateur et le président actuel est M. le directeur, chevalier C.-A. Blüm, à Linköping, qui a si bien mérité de la culture de semences ; le secrétaire est le botaniste, M. O. Baër, Linköping.

L'objet et le but de la Société, selon le paragraphe 1 de ses règlements, sont : « Chercher à faire avancer la culture de graines indigènes, d'abord eu égard principalement aux espèces des légumi-

neuses et des graminées les plus communes ou qui sont le plus appropriées à nos conditions climatologiques. »

Les dernières années, cette association s'est aussi appliquée à la culture et à l'amélioration des céréales et des plantes racines ainsi qu'à la collection et à l'utilisation des plantes médicinales.

Les revenus de la Société sont les suivants :

Une allocation annuelle de 2 500 couronnes par la Société économique royale de la préfecture d'Ostrogothie, la cotisation de 3 couronnes que chacun des membres s'est engagé à verser. Cette Société a aussi mis à la disposition de l'association un champ d'expériences dans la ferme à elle appartenante, dite Frösle, près Linköping[1]. La société d'horticulture de Linköping lui a concédé un autre champ d'expériences. Ainsi, outre les revenus annuels en argent, elle dispose de 2 champs d'expériences.

Je chercherai à faire connaître très sommairement la manière dont cette association veut atteindre le but qu'elle s'est proposé.

a) Instituer des essais dans le champ d'expériences avec des espèces de céréales, de plantes racines et de graines qui n'ont pas été jusqu'ici cultivées, mais qui sont considérées comme méritant d'être introduites dans l'économie rurale.

b) Distribuer gratuitement les graines de trèfles, de graminées et de plantes racines pour 25 ares aux cultivateurs qui l'auront demandé et qui se seront engagés à employer les semences à la culture de graines, récoltées toutes mûres.

c) Faire les frais de conférences sur les graines et la culture des semences dans différentes parties de la préfecture.

d) Donner gratuitement des instructions et des conseils dans les parties de la science agricole et de l'horticulture qui traitent de la culture des semences et de graines.

---

1. Les sociétés économiques suédoises ont des fonds assez considérables à leur disposition et en outre d'assez grands revenus annuels des recettes de la vente de l'eau-de-vie. Ainsi la Société du gouvernement d'Örebro jouit d'un revenu annuel d'environ 33 000 couronnes. Il y en a pourtant qui ont des revenus bien plus grands, par exemple, celle de Sudermanie 34 000 couronnes, celle d'Ostrogothie 65 000 couronnes, celle de Malmöhus (Scanie) 75 000 couronnes, celle de Gothembourg et de Bohus jusqu'à 137 000 couronnes.

e) Distribuer gratuitement des traités sur la culture des semences et de graines.

f) Prendre l'initiative d'expositions de graines et de semences dans la préfecture et de l'adhésion aux expositions générales de ce genre, soit dans le pays, soit en dehors.

En 1879, la Société distribua 16 différentes espèces de graines de légumineuses et de graminées à 150 personnes, ce qui se faisait aussi en 1880 et 1881.

En 1882, cette distribution gratuite des mêmes semences fut faite à 393 cultivateurs et celle de graines de plantes racines à 247 personnes, donnant un total de 640 personnes et une superficie ensemencée de 160 hectares.

La même année, des conférences sur la culture de graines furent faites aux frais de la Société dans 20 communes, auxquelles avaient assisté plus de 800 personnes.

Sous le titre *Bulletins de la Société de culture de semences de la préfecture d'Ostrogothie, Linköping* (*Meddelanden från Föreningen för inhemsk fröodling, Linköping*) elle a fait des distributions gratuites de publications relatives à la culture et à la recherche des semences. Déjà, en 1888, ces publications distribuées se montaient au nombre de 17.

Dès son organisation, la Société a eu deux instructeurs attachés à son service pour donner des instructions et des conseils dans la culture des graines et des semences ainsi que pour surveiller l'administration des champs d'expériences et les cultures, à savoir :

M. C.-A. Blüm, que nous venons de nommer plus haut, pour les cultures des céréales, des légumineuses et des graminées, et

M. J.-A. Johansson, jardinier, pour la culture des plantes racines.

Vers la fin du mois de décembre 1886, la Société résolut de nommer un instructeur de culture pour chacun des 18 cercles de la préfecture qui, à raison de 5 couronnes la visite, doit guider et instruire les cultivateurs en ce qui concerne ces cultures.

Enfin, elle a vaillamment aidé au progrès par plusieurs expositions de graines dans la préfecture et pendant le cours de son activité elle a assisté avec le plus grand honneur à presque toutes les expositions de la Suède et de l'étranger.

Le comité permanent pour l'amélioration des semences de la Société royale économique d'Örebro [1].

Le 30 novembre 1886, le conseil administratif de cette Société créa un comité permanent de 7 personnes, qui, aux frais de la Société et après avoir pris l'avis du comité administratif, doit prendre les mesures jugées nécessaires pour agir en faveur de la culture et du développement des grains et de graines améliorées et de l'utilisation de cette culture dans le pays et à l'étranger.

Son président et caissier est M. le baron C.-S. de Stedingk, gentilhomme de la chambre de S. M. le Roi de Suède et de Norvège, membre du conseil général de la province de Néricie, propriétaire de la maison seigneuriale d'Ekeberg, près Glanshammar [2].

M. C.-G. Zetterlund est secrétaire du comité et M. J. Högbom, son ingénieur agricole.

Avec le comité coopère aussi la station agronomique et d'essais de semences d'Örebro, ainsi que M. A.-G. Nilsson, jardinier de la province, attaché au service de la Société.

Pour avancer la culture des grains et des graines, le comité, dans

---

1. La Société royale économique d'Örebro est la plus ancienne en son genre du royaume de Suède, car son origine date du 1er novembre 1802 et ses règlements furent approuvés et signés par le roi Gustave-Adolphe IV, le 20 mai 1803. — L'Allemagne en avait alors déjà une qui comptait 40 années : *Thüringer landw. Verein zu Weissensee*, instituée en 1763.

C'est la Société économique royale du gouvernement d'Örebro qui a fait naître l'établissement de l'institution d'ingénieurs agricoles qui a été d'une haute utilité pour tout le pays. En 1806, la Société invita l'Anglais George Stephens à s'établir dans la préfecture d'Örebro et à entrer à son service, qu'il ne quitta que pour être attaché, en 1835, à celui de l'État.

Présentement (1888), le nombre des ingénieurs agricoles de l'État est de 20, lesquels sont aidés de 6 assistants.

L'initiative des expositions générales d'orge de brasseries est aussi due à cette Société qui en a arrangé 3, savoir : en 1884, 1887, 1888.

2. Le domaine d'Ekeberg était autrefois (1651-1681) la baronie de la maison Leijonhufvud. C'est une ancienne terre noble, riche en mémoire des temps passés, située sur les bords du lac Hjelmar, dans la paroisse de Lillkyrka. Le domaine a le *jus patronatus* pour les paroisses de Lillkyrka et d'Ödeby, c'est-à-dire le propriétaire exerce le droit d'appeler et de nommer le curé des deux paroisses. C'est à Ekeberg que le roi Gustave Wasa, en 1536, épousa Marguerite Leijonhufvud.

le cours de ce printemps (1888), fait distribuer gratuitement des semences pour 25 ares d'une des espèces citées ci-dessous à tous les petits cultivateurs qui, avant la fin du mois de mars, auront fait par écrit une demande à cet effet au secrétaire.

Avoine blanche du Probstei (*Avena sativa*);
Avoine blanche de Tartarie (*Avena sativa orientalis*);
Avoine noire de Visingsö (*Avena sativa nigra*);
Avoine noire de Turquie (*Avena sativa nigra orientalis*);
Orge à deux rangs Chevalier (*Hordeum distichum nutans*);
Orge à six rangs (*Hordeum vulgare*);
Pois Victoria (*Pisum arvense*);
Vesce cultivée (*Vicia sativa flore alba*);
Dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*);
Vulpin des prés (*Alopecurus pratensis*);
Avoine élevée ou Fromental (*Avena elatior*);
Avoine jaunâtre ou petit Fromental (*Avena flavescens*);
Fétuque roseau (*Festuca arundinacea*);
Fétuque des près (*Festuca pratensis*);
Paturin des près (*Poa pratensis*);
Lotier commun (*Lotus corniculatus*);
Gesse cultivée (*Lathyrus pratensis*);
Trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum*);
Vesce velue ou Vesce des sables (*Vicia villosa*);
Luzerne cultivée des prés (*Medicago sativa*);
Minette ou luzerne lupuline (*Medicago lupulina*).

Il n'y a pas moins de 167 cultivateurs qui, dans le temps prescrit, se sont adressés par écrit au secrétaire du comité pour jouir de cette offre.

Les grains et les graines, distribués à la culture par le comité, sont tous de race suédoise.

L'automne prochain le comité fera encore à de petits cultivateurs des distributions gratuites de blé d'automne ou, à leur choix, de seigle d'automne ainsi que des espèces de graines de graminées qui se sèment avec le plus d'avantage en automne.

En acceptant les semences, le cultivateur est considéré s'être engagé non seulement à se soumettre au contrôle du comité, exercé

par son ingénieur agricole, mais aussi à se conformer en tout aux instructions publiées concernant la culture et la moisson des semences, instructions livrées en même temps que les semences. En outre, il est tenu à présenter au comité un compte rendu des résultats de la récolte en répondant par écrit aux questions publiées dans un questionnaire dressé par le comité.

Établissements pour le nettoyage et le triage des semences tant en Suède qu'en Norvège, pour obtenir des semences pures et de grosses graines.

En *Suède,* ces établissements sont dus à l'initiative des sociétés économiques. Celles-ci ont accordé des prêts gratuits, généralement amortissables en 5 ans, à des personnes qui achètent des machines de nettoyage et de triage et elles créent des établissements où les cultivateurs des environs peuvent faire nettoyer et trier leurs semences à peu de frais. C'est ainsi, par exemple, que par les soins de la Société économique royale de la préfecture d'Örebro, 4 établissements de cette espèce ont été créés, savoir, à Rockhammar, près Fellingsbro, à Hjelmarsnäs, près Stora Mellösa, à Körtingsberg, près Vretstorp, et à Edö, près Askersund. La Société de culture de semences de la préfecture d'Ostrogothie possède depuis des années un établissement semblable où il y a nettoyage et triage de 140 000 à 150 000 kilogr. de semences outre celles de l'association, activité qui s'est montrée très lucrative. Prochainement on va sans doute en établir encore d'autres. De tels établissements se trouvent aussi dans les préfectures de Gothembourg et de Bohus, d'Elfsborg, de Kalmar, d'Upsal, de Stockholm, de Jönköping, de Vesternorrland et, cette année (1888), on vient d'en créer 5 dans l'île de Gotland.

En *Norvège* il y a aussi plusieurs établissements du même genre, parmi lesquels il suffira de citer celui de M. Håkon Hermandrud, à Toten, adresse *Toten,* tant pour les grains que pour les graines de légumineuses et de graminées. Voici les droits payés dans l'établissement de Toten pour ces opérations :

a) Le nettoyage et le triage de graines des graminées et des légu-

mineuses de 3 à 9 öres (la couronne de 100 öres = 1 fr. 39 c.) le kilogramme de graines épurées[1].

b) Les graines des céréales 25 öres l'hectolitre de graines épurées.

Dès la fondation de l'établissement de Toten, les cultivateurs du voisinage se sont empressés d'en tirer tous les avantages.

Dans le Ringerike[2] la culture et le nettoyage de trèfle et de graines de graminées, pendant les trois dernières années, ont plus que doublé. Cela apparaît par le fait que, pendant l'hiver de 1884 à 1885, dans les établissements pour le nettoyage de semences, on n'a eu à traiter que 5 054 kilogr. de trèfle et de graines de graminées et pendant l'hiver de 1885 et 1886, 8,390 kilogr., tandis que dans l'hiver 1886 à 1887 on en a nettoyé 10 697 kilogr.

En moyenne, la récolte de graines de trèfle est 300 kilogr. l'hectare, mais assez souvent on en récolte jusque 500 kilogr. ; l'année dernière (1887) il y avait des fermes où un hectare a donné jusqu'à 650 kilogr.

Outre les établissements de nettoyage de semences déjà en fonction, l'année dernière, M. Chr. Anker, négociant, en a établi un dans la ville de Hönefos, où l'on emploie l'eau comme moteur, ainsi qu'on le fait dans la plupart des autres établissements de cette sorte en Norvège.

Outre l'établissement de Toten et celui de Hönefos, je ne connais que ceux de MM. P.-M. et H. Hveem, Toten, de M. O. Frenning de Romedal, près Ilseng et de M. O. Skraastad de Vang, près Hamar.

Vu l'utilité de ces établissements pour l'agriculture, on pourra prédire que leur nombre sera considérablement augmenté tant en Suède qu'en Norvège.

Société d'horticulture de la préfecture d'Örebro.

Elle date du 29 janvier 1862, jour où furent adoptés et sanctionnés ses règlements. La Société compte un très grand nombre

1. Dans une brochure publiée par M. Hākon Hermandrud, intitulée : *Hvad koster Anlægget af et Frørenseri ?* (*Quels sont les frais d'un établissement pour le nettoyage des semences ?*) insérée dans *Norsk Landmansblad*, année 1887, p. 223 seq., les frais de nettoyage et de triage sont portés à 5-10 öres le kilogr. de graines épurées.

2. Le Ringerike est une sous-préfecture (fogderi) de la préfecture de Buskerud.

de membres sous une direction spéciale siégeant à Örebro, où sont aussi établis son champ d'expériences, sa serre et son école.

M. Gustave Nilsson, à Örebro, est directeur des cultures, du commerce et de l'école de la Société.

La Société se livre à une culture et à un commerce très considérables de graines de plantes potagères, de fleurs, d'arbres de parcs, de plantes et distribue de grandes quantités de ces graines à des jardiniers et à des cultivateurs non seulement de la Néricie, mais aussi à ceux d'autres provinces. La Société leur achète alors les graines obtenues, s'ils se sont conformés à ses prescriptions pour la culture et la récolte et s'ils se sont soumis à son contrôle. Soigneusement nettoyées et triées, les graines sont alors mises en circulation par l'agent commercial de la Société.

Au printemps de 1887, la Société a acheté la culture d'amélioration de pommes de terre que M. le gouverneur Axel Bergström avait fait poursuivre depuis 1880 dans le jardin appartenant au château d'Örebro. Dès cette année la Société s'est donc livrée aussi à la culture de différentes variétés de pommes de terre.

La collection des pommes de terre, envoyée par la Société à l'exposition de Drontheim, en 1887, où elle obtint la petite médaille d'argent, était de la récolte de 1886 de M. le gouverneur A. Bergström.

Culture et amélioration des pommes de terre.

Installation de M. le gouverneur Axel Bergström[1] *dans le jardin du château d'Örebro pour la culture des pommes de terre. 1880-1887.*

Pour mettre les jardiniers et les cultivateurs de la préfecture d'Örebro à même de se procurer des espèces améliorées de pommes de terre, M. le gouverneur Bergström fit, en 1880, un établissement dans ce but sur le modèle des cultures bohémiennes et allemandes.

Il obtint la première semence par l'entremise de M. le prince

1. Depuis le commencement de cette année (1888), M. le gouverneur Bergström est conseiller d'État et chef du département de la justice.

et altgrave François Salm-Reifferscheid, du domaine allodial Svetlá (*Swietla*), en Bohême. — M. Johann Wenke, administrateur du domaine de M. le prince Salm, fit choisir 20 parmi les meilleures de 400 différentes espèces qu'on y cultivait pour le commerce, la fabrication de la fécule de pommes de terre et de la glucose. Par des achats ultérieurs d'espèces plus récentes de MM. Gebrüder Dippe, à Quedlinburg, et du Comptoir de semences (*Markfrøkontoret*) en Danemark, on obtint aussi les meilleures sortes de leur récolte, provenant toutes de semis. En y ajoutant un choix de pommes de terre indigènes, le nombre montait à 50 numéros dont 22 étaient recherchées pour la table, 24 pour l'ordinaire, 4 enfin destinées à satisfaire aux demandes des fabriques ou à servir de fourrage.

C'était M. A. Andersson, directeur du jardin du château d'Örebro, qui dirigeait cette culture et ce commerce.

Les recherches sur la teneur en fécule, le poids et le rendement des pommes de terre, ainsi que sur le sol et les engrais, étaient faites par la station agronomique d'Örebro.

Le but et l'objet de cette culture étaient exclusivement de mettre en circulation une bonne semence et de propager la connaissance de la culture des pommes de terre. Pour contribuer à atteindre ce but, on donna à tout acheteur et cultivateur une brochure sur la culture des pommes de terre, due à M. C.-G. Zetterlund, avec un questionnaire où devaient être inscrits les résultats de la culture. Ces questions étaient au nombre de 17, mais plusieurs avaient beaucoup de subdivisions. Les résultats obtenus par les réponses furent rédigés par M. Zetterlund sous forme d'un compte rendu de cette culture, publié dans le journal trimestriel de la Société économique royale de la préfecture d'Örebro et de là inséré dans d'autres journaux et dans le rapport annuel de la station d'Örebro. On cherchait encore à contribuer à arriver à gagner ce but, en faisant des conférences sur ces résultats devant le club des cultivateurs, à Venersborg, en 1882, devant l'association patriotique de Stora Mellösa, en 1883, et l'association des cultivateurs de Fellingsbro, en 1887.

On trouve encore ces résultats dans les catalogues qui accompagnaient les échantillons des différentes expositions, et dans les rapports faits sur ces expositions, comme dans celui de M. le profes-

seur Dr F. Nobbe sur l'exposition de Sundsvall en 1882, rapport officiel au conseil d'administration de Sundsvall [1].

Les semences de pommes de terre qu'on offrait ainsi gagnèrent bientôt toute la confiance et l'approbation du public comme il résulte des ventes citées ci-dessous.

Les ventes ont commencé en 1881 et l'on a débuté

par fournir à	30	cultivateurs	
en 1882 à	70	—	
en 1883 à	94	—	
en 1884 à	117	—	
en 1885 à	140	—	
en 1886 à	156	—	

ce qui donne un total de 607 cultivateurs de pommes de terre qui, pendant ces années, avaient reçu des semences améliorées de la station de culture de M. le gouverneur Bergström.

Ce n'était pas seulement en Néricie et en Suède en particulier qu'on en a profité, mais encore dans les pays limitrophes comme en Norvège et en Finlande. En 1884 et 1885, le département de l'agriculture de Finlande en fit acheter différentes espèces pour les distribuer à des cultivateurs finnois.

Aussi l'importance pour la Suède et pour les pays du Nord en général de cette culture améliorée a-t-elle été dûment reconnue. Ainsi on y a décerné 2 diplômes de la médaille d'or — dont un à Blidah en Algérie, — 8 premiers prix, des médailles d'argent, comme à Åbo et à Budapest, une petite médaille d'argent à Drontheim, en 1887.

Au commencement de 1887, cette culture, qui promettait si bien, devait cesser son activité. Par une expropriation à cause de la construction d'un canal, le jardin du château devint la propriété de la ville d'Örebro.

L'œuvre est pourtant poursuivie par :

La Société d'horticulture de la préfecture d'Örebro, à Örebro,

1. *Berättelse öfver andra allmänna nordiska Fröutställningen i Sundsvall*, 17 juli-14 augusti 1882 af professor Dr Friedrich Nobbe, p. 298-301. Örebro 1884. Bohlinska Boktryckeriet.

L'école agricole de la Société royale d'économie de la préfecture d'Örebro, de Lund, près Örebro,

La ferme de Ljungs Säby, près Linköping,

M. S. Nilsson, Södra Vram, près de la mine de houille de Billesholm,

L'association suédoise générale des semences, Svalöf,

La ferme de Dorisborg, près Teckomatorp,

La ferme de Råröd, près Vinslöf et

La ferme de Harlösa, près Löberöd.

En Norvège, c'est surtout le secrétaire de *Kongelige Selskab for Norges Vel* (la Société royale pour le bien public de la Norvège), M. le propriétaire Haakon Tveter d'Ostensjø, près Christiania, qui s'est le mieux fait connaître par son activité comme cultivateur d'espèces améliorées de pommes de terre. L'année passée, M. Tveter avait exposé à Drontheim 30 différentes sortes, exposition qui lui a valu la grande médaille d'or ou le premier prix.

Je saisis cette occasion pour insérer deux notices sur l'exportation de graines de la Norvège qui viennent un peu tard à ma connaissance.

M. le directeur L.-P. Nilsen, Houg Landbrugsskolegaard, près Gjøvik, fait un objet d'exportation de la fétuque des prés (*Festuca pratensis*), variété de Houg.

La maison A. Michelet, Jernbanetorvet n° 2, Christiania, vend et exporte des graines norvégiennes, telles que le trèfle rouge de Toten (*Trifolium pratense var. Norvegicum*), le pin sylvestre, le sapin et autres. Selon une communication de M. le professeur Alexandre Müller de Berlin, M. Jonas Smitt, directeur en chef de l'agriculture de l'État à Christiana, a recommandé cette maison comme parfaitement digne de confiance. (Voir *Nachrichten aus dem Klub der Landwirthe zu Berlin*, n° 219, le 19 mai 1888.)

En date du 20 janvier 1888, le conseil administratif de l'académie royale d'agriculture de Suède a publié des instructions pour les stations d'essais de semences, toutes subventionnées par l'État et placées sous sa surveillance. Je crois devoir en citer ce qui a rapport au plombage des grains et graines dont voici les prescriptions.

« Pour avancer la circulation dans le pays et en dehors des *semences vraiment bonnes* du commerce, le cas échéant, il incombera aux directeurs des stations d'essai de semences de mettre le plomb de la station aux parties qui, sur les recherches faites à la station sur la pureté et la faculté germinative, auront été jugées conformes, pour le moins, aux chiffres minima fixés ci-dessous dans un tableau spécial, qui seront provisoirement valables comme limites du droit de plombage pour les diverses espèces de graines. Le plombage ne sera pas permis pour une marchandise qui n'aura pas atteint les chiffres fixés. . . . .
Le plomb comprimé montrera sur l'intersection en haut relief le nom ou la marque de la station et, au milieu, une *couronne* (celle de l'État, fortement enfoncée ; au milieu du revers, une *étoile* demi-enfoncée. »

De ces instructions il y en a encore une qui mérite une mention toute particulière comme devant exercer une influence bien salutaire sur le développement de la culture des semences. Dans leurs rapports annuels qui seront présentés, dans le mois de mars, au comité administratif de l'académie royale d'agriculture, les directeurs des stations d'essais de semences, entre autres choses, auront à renseigner sur

a) L'état du commerce et de la production de semences de leur circonscription;

b) Les associations pour la culture ou l'achat de semences ainsi que l'étendue et les résultats de leur activité.

Exportation de semences de la Suède.

Orge de brasserie.

En 1886, la Suède a exporté 35 617 449 kilogr. d'orge pour semences et maltage. En 1887, à raison des bonnes qualités et de la demande qu'on faisait de l'orge suédoise sur les marchés extérieurs, l'exportation montait à 37 288 000 kilogr. Les ports principaux d'où était expédiée cette exportation étaient la ville de Landskrona pour 10 848 000 kilogr., Trelleborg 9 717 000 kilogr., Malmö 7 104 000 kilogr., Ystad 3 416 000 kilogr. et Helsingborg 2 147 000 kilogr.

L'exportation pour l'Angleterre était de 28 199 000 kilogr., le Danemark de 5 821 000, la Belgique de 1 951 000 kilogr., la Norvège de 720 000 kilogr.

La Société royale d'économie de la préfecture d'Örebro, dans le but de bien prendre connaissance de la culture de l'orge suédoise et de la faire connaître à l'étranger, a fait des expositions d'orge de brasserie en 1884, 1887 et 1888, auxquelles ont participé non seulement toutes les provinces de la Suède, mais aussi la Norvège, le Danemark, la Finlande, l'Allemagne, la Bohême et la Hongrie.

Par ces expositions on est arrivé à la pleine conviction que l'orge de brasserie que produisent les îles de Gotland et d'Öland dans la Baltique et la province la plus méridionale de la Suède, la Scanie, peut bien rivaliser avec celle de même espèce de tout autre pays producteur. C'est surtout l'orge de Gotland et d'Öland qui a montré des qualités toutes exceptionnelles. Aussi a-t-elle remporté les plus grandes récompenses ; en outre elle est devenue une marchandise très recherchée à l'étranger.

Dans le cours du printemps 1888, par l'entremise de M. le directeur de la station agronomique de Kalmar, le Dr Albert Atterberg, on a envoyé 10 000 kilogr. d'orge de brasserie à Budapest, 600 kilogr. en Bohême, 220 kilogr. à Dorpat, en Livonie. Pour cette ville-ci il y a aussi eu une commande de 250 kilogr. de seigle de Probstei, 250 kilogr. d'avoine noire et 1,040 kilogr. d'avoine blanche de Turquie.

Avoine.

Visingsö débite des semences qui sont payées à un prix très élevé[1]. Sur l'autorité de M. le Dr G. Almqvist, secrétaire de la Société royale d'économie de la préfecture de Jönköping, intendant du domaine de l'État, je puis, en toute conscience, recommander le marchand-grainier M. G. Bergh, Kumlaby, près Visingsö, comme un intermédiaire ayant fourni ses preuves dans le commerce de l'avoine noire de Visingsö (*Avena sativa nigra*).

Le littoral du Halland fournit aux îles danoises la presque totalité de leurs semences d'avoine.

1. *Visingsö* est une île au sud du lac de Vetter, d'une superficie de 2 496 hectares.

Karpalund en Scanie, depuis des années, a exporté des quantités considérables d'avoine pour semence dans des pays méridionaux.

Pois et vesces.

La Sudermanie et les environs de Vadstena envoient de grandes quantités de pois et de vesces en Scanie où elles sont payées 2 à 3 couronnes de plus l'hectolitre que celles de la province, parce qu'elles mûrissent plus tôt et avant que les pluies d'automne commencent.

Trèfles et graminées.

C'est surtout dans les provinces riveraines du Mælar, la Néricie, le Vestmanland, l'Upland, la Sudermanie et l'Ostrogothie, qu'on cultive et qu'on exporte des graines de trèfles et de graminées, car dans les provinces plus méridionales la culture des trèfles et des légumineuses ne réussit pas si bien.

Selon le rapport du comité des impôts de la Diète de Suède du 11 avril 1888, n° 8, p. 35[1], les exportations de graines de trèfles et de graminées pendant les cinq dernières années ont été :

En 1882 de	152 003	kilogr.
En 1883 de	242 040	—
En 1884 de	240 474	—
En 1885 de	315 302	—
En 1886 de	169 632	—

Graines forestières.

C'est aux expériences faites en Danemark que nous devons la connaissance de la supériorité des graines forestières du Nord sur celles de provenance allemande. Des essais comparatifs entre ces espèces poursuivis depuis des années, ont conduit au résultat qu'on n'emploie plus que des graines tirées du Nord dans les forêts et les pépinières de l'État.

La demande toujours croissante de cette espèce de graines en

1. *Svenska Riksdagens Bevillnings-Utskotts Betänkande,* n° 8 af den 11 april 1888, p. 35.

Suède comme à l'étranger, a éveillé un vif intérêt pour l'établissement des sécheries de graines forestières, de sorte qu'on en a créé un certain nombre dans les pays du Nord. Parmi les plus considérables se trouve celui *du fidéicommis de Koberg, près Sollebrunn, préfecture d'Elfsborg,* appartenant à M. le baron Silfverschiöld, qui a été en activité depuis 1884. — Cet établissement a une dessiccation et un nettoyage de 60 à 70 hectolitres de cônes par jour. En 1887, le produit des graines épurées du pin et du sapin est monté à 4,000 kilogr., qui a trouvé son emploi dans les boisements de l'État, des sociétés d'économie et des sylviculteurs particuliers comme aussi dans l'exportation au Danemark, à l'Allemagne, aux Pays-Bas, à l'Autriche et à l'Espagne.

M. B.-A. Bötker, consul général de Suède et de Norvège à Leith, en Écosse, a fait venir des graines et des plantes forestières du Nord qu'il a distribuées pour culture dans l'Écosse. Les essais qu'on en a faits ont donné des résultats si favorables qu'ils ont complètement répondu à ce qu'on en attendait. En s'appuyant sur ces résultats, les principaux sylviculteurs de l'Écosse ont déclaré qu'à leur avis « les graines forestières du Nord sont éminemment propres aux conditions climatologiques du pays et qu'elles devaient trouver une demande suivie en Écosse ».

Aperçu de quelques œuvres belges, françaises, allemandes et anglaises qui pourront donner des renseignements sur la Suède et la Norvège.

PETERMANN (A.), docteur ès sciences, directeur de la Station agronomique de l'État à Gembloux, Belgique [1]. — *Recherches sur les graines originaires des hautes latitudes.* — Bruxelles, F. Hayez, 1877. 50 p. in-8°.

TISSERAND (Eug.), inspecteur général de l'agriculture de Paris [2]. — *Mémoire sur la végétation dans les hautes latitudes.* — Paris, 1876, imprimerie et librairie d'agriculture et d'horticulture de Mme Ve Bouchard-Huzard. 59 p. in-8°.

ANDERSSON (N. J.), docteur, professeur, membre des académies des sciences et d'agriculture de Stockholm †. 1880. — *Aperçu de la végétation et des plantes cultivées de la Suède.* — Stockholm, 1867, P.-A. Norstedt et fils. 94 p. grand in-8°.

BROCH (O. J.), docteur, professeur à l'Université de Christiania. — *Le royaume de Norvège et le peuple norvégien.* — Christiania, 1876.

WAHLSTEDT (L. J.), docteur, professeur, Christianstad, commissaire de la Suède à l'exposition internationale d'Amsterdam en 1883. — *Catalogue de la collection des semences suédoises,* avec une introduction topographique, climatologique, etc. — Lund, 1883. F. Berling. 77 p. in-8°.

FORSSELL (ABRAHAM), intendant du champ d'expériences de l'Académie royale d'agriculture de Suède, Stockholm. — *Catalogue des semences suédoises à l'exposition universelle d'Anvers.* 1885. — Stockholm, 1885, Kongl. Boktryckeriet. 15 p. in-8°.

SIDENBLADH (ELIS), docteur, secrétaire du bureau central de statistique de Suède. — *Exposition universelle de 1878 à Paris. Royaume de Suède. I. Exposé statistique.* — Stockholm, 1878, imprimerie centrale. 554 p.

NORDENSTRÖM (G.), professeur à l'École des mines à Stockholm. — *Exposition internationale de 1883 à Madrid.* Royaume de Suède. — Stockholm, 1883, imprimerie royale. 60 p. in-8°.

ARRHENIUS (J.), docteur, professeur, ancien secrétaire de l'Académie royale d'agriculture de Suède, etc. — *Les institutions agricoles de la Suède.* — Stockholm, 1883, imprimerie royale de Norstedt et Söner. 32 p. in-8°.

ÖBERG (O. F.), consul général de Turquie à Stockholm. — *Notices sur la situation industrielle et financière de la Suède et de la Norvège.* — Amsterdam. Brakke Grond, 1843. 46 p. in-8°.

BERENCREUTZ (F. Adolf G.), gentilhomme de chambre de S. M. le roi de Suède et

---

1. Professeur à l'Institut agricole de l'État, membre du Conseil supérieur d'agriculture de Belgique. Adresse : Gembloux, Belgique.

2. A présent conseiller d'État et directeur de l'agriculture au ministère de l'agriculture, à Paris.

de Norvège, attaché au ministère de l'intérieur, Stockholm. — *Précis du droit constitutionnel du royaume de Suède,* précédé d'un aperçu général du pays et de sa population, etc. — Stockholm, 1886. Imprimerie royale P. A. Norstedt et Söner. 90 p. in-8°.

Almquist (G. Fr.), directeur général, ancien chef de l'administration royale des prisons du royaume †. — *Résumé historique de la Réforme pénitentiaire en Suède depuis le commencement du* XIVe *siècle.* — Stockholm, 1885. Longl. Boktryckeriet. P. A. Norstedt et Söner. 70 p. in-8°.

Vandal (Albert). — *En Karriole à travers la Suède et la Norvège.* — Paris, E. Plon et Cie, 1877. 396 p. in-8°.

Gourdon (Maurice). — *Croquis scandinaves.* — Bagnères de Luchon, 1877. 78 p. in-4°.

Dobritz (Frédéric). — *Contes et légendes scandinaves.* — Paris, Calmann-Lévy, 1887. 353 p. in-8°.

Block (Maurice). — *Annuaire de l'économie politique et de la statistique.* — Paris, Guillaume et Cie.

Almanach de Gotha. — *Annuaire généalogique, diplomatique et statistique.*

Schübeler (F. C.), Doctor, Professor in Christiania. — *Die Pflanzenwelt Norwegens.* — Christiania, 1873-1875. A. W. Brögger. 468 p. in-8°.

Nobbe (Friedrich), Doctor, Professor in Tharand, Sachsen. — *Ueber Samenzucht und Samenkontrole in Schweden,* numéro 111. *Nachrichten aus dem Klub der Landwirthe zu Berlin,* 25 März 1881.

Liebenberg (Adolf, Ritter von), Doctor, Professor a. d. k. k. Hochschule für Bodencultur in Wien. — *Bericht an das hohe k. k. Ackerbauministerium über die Allgemeine Nordische Samenausstellung und den Samen Congress in Sundsvall im nördlichen Schweden im Jahre* 1882. — Wien, aus der Kaiserlich-Königlichen Hof- und Staatsdruckerei. 1883. 31 p. in-8°.

— *Eine schwedische Haferzuchtwirthschaft,* numéro 49. *Oesterreichisches Landwirthschaftliches Wochenblatt.* — Wien, 9. December 1882.

Wittrock (V. B.), Doctor, Professor in Stockholm, und Bendix (Carl), Agronom, Stockholm. — *Allgemeine Landes-Ausstellung in Budapest.* 1885. Gruppe I. *Katalog über Schwedische Sämereien, mit einer Einleitung.* — Stockholm, Isac Marcus, 1885. 92 p. in-8°.

Schweden. — *Weltausstellung* 1873 *in Wien.* I. *Statistische Mittheilungen von* Dr Elis Sidenbladh, Sekretär des Königl. Schwedischen Statistischen Central-Büreau. — Stockholm, 1873. P. A. Norstedt et Söner. 210 p.

Norwegischer Special-Katalog der Weltausstellung 1873 *in Wien.* — Christiania, J. Chr. Gunddersen's Buchdruckerei, 1873. 79 p. in-8°.

Müller (Alexander), Doctor, Professor, Elisabeth-Ufer, 27, Berlin, Besitzer von Stensjöholm bei Ryssby (Schweden). — *Ueber die Förderung der Landwirthschaft durch öffentliche Zuwendungen in Preussen und in Schweden.* — Berlin, im Mai 1879. 43 p. in-4°.

Zöller (Egon). — *Schweden, Land und Volk.* — Lindau und Leipzig, 1882. 222 p. in-8°.

Brachelli (H. F. Ritter von). — *Statistische Skizzen der europäischen und amerikanischen Staaten.* — Leipzig, 1887. J. C. Heinrichs'sche Buchhandlung.

ANONYME. — *Übersicht der Landwirthschaftlichen Verhältnisse in dem Königreiche Norwegen.* — Christiania, R. Hviids Enkes Buchdruckerei, 1884. 14 p. in-8°.

ASCHEHOUG (T. H.), Doctor, Professor in Christiania. — *Das Staatsrecht der vereinigten Königreiche Schweden und Norwegen.* — Freiburg in B. 1886. I. C. B. Mohr (Paul Siebeck). 208 p. in-4°.

MARSCHALL (Gottfried), Doctor, k. k. Hofcaplan in Wien. — *Vom Hohen Norden.* — Wien, 1877. F. Eipeldauer u. Comp. 214 p. in-8°.

PASSARGE (L.). — *Sommerfahrten in Norwegen.* — Leipzig, 1884. Bernhard Schlicke. 628 p.

Schweden und Norwegen (Bædekers Reisehandbücher). — Leipzig, Verlag von Karl Bædeker.

JONAS (Emil J.). — *Illustrirtes Reise- und Skizzenbuch für Schweden.* — Strassburg i/E. R. Schultz u. Comp. 268 p.

NEUMANN-SPALLART (F. X. von), Doctor. — *Uebersichten der Weltwirthschaft.* — Stuttgart, Julius Maier.

KOLB (G. G.). — *Statistik der Neuzeit.*

— *Vergleichende Statistik.*

WALD-ZEDTWITZ (E. von), k. k. Major. — *Das Pfarrhaus in Lappland.* Norddeutsche Verlagsbuchhandlung. Berlin, 1888.

International Exhibition 1876. *Schwedish Catalogue. I. Statistics.* By Dr Élis SIDENBLADH, secretary of the Roy. Swedish statistical Centralbureau. — Philadelphia, Press of Hallowell and Company, 1876.

HAGENDAHL (C. A.), Corn and Seed Merchant, Örebro. — *On Scandinavian Seed and Corn with their reproductive properties.* Örebro at the Bohlin press 1883. 14 p. in-8°. — The same tract is translated into Spanish by the Consul General Elias CASSEL. — *De las semillas y trigos Escandinavos con sus propriedades reproductoras.* — Madrid, imprenta de Francisco G. Peres. 1884.

HÖRNELL (Reinh.) and KÖERSNER (Wilhelm). — *Export of Sweden, a compendium showing the principal branches of export and industry,* etc., to the use of consuls, merchants, bankers, manufacturers and others. — Stockholm. Kongl. Boktryckeriet, 1888.

DU CHAILLU (Paul B.). — *The Land of the Midnight Sun.* Two volumes. 907 p. John Murray. Albemarle Street, London, 1881.

HONIGH (C.), professeur à l'école supérieure d'agriculture de Wageningen, Pays-Bas. — *Door Noorwegen. Reisschetsen en indrucken.* — Haarlem H. D. Tjeenk Willink, 1885-1886. 545 p.

DEININGER (Imre), professeur, directeur de l'Institut agronomique de Keszthely en Hongrie. — *Jelentés a Sundsvally* 1882 *evi Kiállitásról.* — Budapest, 1883. 40 p. in-4°.

Sveriges officiela statistik i sammandrag (Annuaire statistique de la Suède. Index en français).

Statistisk Aarbog for Kongeriget Norge (Annuaire statistique de la Norvège. Index en français).

Örebro, en mai 1888.

Remarque.

Page 4, ligne 31 et page 6, ligne 23, *méteil.*

Faute d'un mot qui rendrait exactement le mot suédois « blandsäd » on a employé l'expression qu'a adoptée l'Index français de l'*Annuaire statistique de la Norvège.* Or, *méteil* signifie en France un mélange *de seigle et de froment,* mélange qui n'est pas celui du « blandsäd » suédois et norvégien, qui consiste en un mélange d'avoine et d'orge. La différence n'est donc pas sans importance pour la statistique.

RECHERCHES

SUR LA

PRODUCTION LIGNEUSE

PENDANT

LA PHASE DES COUPES DE RÉGÉNÉRATION[1]

Par M. BARTET

INSPECTEUR-ADJOINT DES FORÊTS
ATTACHÉ A LA STATION D'EXPÉRIENCES DE L'ÉCOLE NATIONALE FORESTIÈRE

PREMIER MÉMOIRE

I. — But des recherches et plan d'exécution.

Dans le traitement des forêts en futaie régulière, par la *méthode dite du réensemencement naturel et des éclaircies,* la *phase des coupes de régénération* représente le laps de temps employé pour réaliser un peuplement arrivé à son terme d'exploitation, et pour le remplacer par une nouvelle génération de tiges obtenues de semence, grâce à l'action des forces naturelles. On sait, d'autre part, que ce double résultat s'acquiert au moyen d'une suite d'opérations culturales qui s'appellent : la *coupe d'ensemencement,* les *coupes secondaires* et la *coupe définitive.*

Or, ces diverses opérations placent le peuplement à régénérer dans des conditions de consistance toutes spéciales, conditions qui sont susceptibles de modifier beaucoup la marche de la végétation et d'influer, soit en bien, soit en mal, sur la quantité de bois produite annuellement, à l'unité de surface.

---

1. Dans les forêts traitées en futaie régulière par la méthode dite du réensemencement naturel et des éclaircies.

En effet, sauf le cas où elle est *très sombre,* la coupe d'ensemencement détruit l'état de *massif*[1] ou état normal des peuplements en croissance. Il en résulte qu'après son passage, on constate presque toujours un certain espacement entre les cimes des arbres conservés comme semenciers. Puis, au fur et à mesure que le semis obtenu grandit et exige une participation plus complète à l'influence de la lumière, on vient exécuter des coupes secondaires qui diminuent progressivement le nombre des sujets laissés debout et accentuent leur isolement. Enfin arrive l'heure de la coupe définitive, qui fait disparaître les derniers porte-graines; et alors le nouveau peuplement (*fourré* ou *gaulis*[2]) demeure seul en possession du terrain.

Quelle est la conséquence de cet état de choses pour la production ligneuse ? En cessant de former massif, en se clairiérant de plus en plus, le vieux peuplement subit-il, dans son accroissement, une baisse en rapport avec les trouées causées par les coupes successives de régénération ? Ou bien la diminution de volume qui affecte le matériel producteur est-elle compensée, à un degré quelconque, par un surcroît d'activité qui se manifesterait dans la végétation des arbres maintenus debout, surcroît d'activité qu'on pourrait expliquer en invoquant soit un meilleur éclairement des cimes, soit la facilité plus grande donnée aux racines pour s'étendre et puiser dans le sol les principes alimentaires? Quel est, enfin, l'appoint de

---

1. Pour qu'un peuplement forestier soit à l'état de *massif,* il suffit que les branches des arbres voisins se touchent sans être agitées par le vent. Cet état comporte donc des degrés de consistance variés, et l'on distingue, notamment, le cas où les branches s'entrecroisent, en disant que le massif est *serré* (Bagnéris).

La coupe d'ensemencement a pour but de donner au peuplement le degré de consistance le plus favorable à la germination des graines. Le plus souvent, les circonstances commandent de faire cette coupe assez intense pour qu'elle détruise l'état de massif, mais quelquefois il en est autrement et le massif n'est pas interrompu; c'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'on se borne à abattre les sujets dominés ou retardataires formant une sorte de double étage au-dessous des couronnes des tiges dominantes. Après une extraction ainsi faite, la forêt reste très ombreuse; c'est à peine si quelques rayons de soleil parviennent jusqu'au sol : de là le nom de *très sombre* donné à l'opération.

2. Un jeune peuplement, né de semence, est appelé *fourré* tant qu'il est formé de sujets encore garnis de leurs branches basses dès la base. Il passe à l'état de *gaulis* quand le fût commence à se former par la chute desdites branches et il conserve ce nom tant que les tiges n'atteignent pas 1 décimètre de diamètre (Bagnéris).

production dû au jeune recrû de futaie, jusqu'à l'époque de la coupe définitive.

Ces problèmes ne sont pas nouveaux. Depuis longtemps ils préoccupent les forestiers français. M. Bagnéris y consacre quelques lignes dans son *Manuel de sylviculture*. A la page 42 de la 2e édition [1], après avoir conseillé de procéder lentement à l'exécution des coupes successives de régénération, il s'exprime ainsi : « On a souvent dit qu'en consacrant un aussi long temps à la régénération, on se condamnait à une perte sensible en production... C'est là une une erreur contre laquelle on ne saurait trop s'élever... On peut affirmer qu'il n'y a pas de perte, puisque chacune des réserves de la coupe d'ensemencement croît d'autant plus vite que le peuplement n'est plus clos. » Malheureusement l'auteur ne cite pas de fait précis, pas de preuve à l'appui de son assertion.

En réalité, les données positives sur ce sujet font à peu près totalement défaut.

Les deux expériences dont nous allons rendre compte n'embrassent qu'une période d'observations de 4 années. Aussi doit-on les considérer simplement comme une contribution à l'étude des *variations de la production ligneuse pendant la phase des coupes de régénération* [2].

Selon le dispositif adopté par le comité des recherches [3], chacune de ces expériences comprend une *place d'essai* unique, sans subdivision et sans accompagnement de place témoin.

L'une et l'autre expérience portent d'ailleurs, non pas sur de véritables massifs de futaie régulière, mais sur d'anciens peuplements de taillis composé, les seuls que renferment les forêts domaniales des environs de Nancy.

Nous passerons successivement en revue les faits relatifs aux deux *places de régénération* dont il s'agit.

---

1. Nancy, Berger-Levrault et Cie. 1878.

2. Les recherches exécutées en Allemagne et en Autriche sur *l'accroissement en coupes claires* (*Lichtzuwachs*) n'ont pas exactement le même but, car, si nous ne nous trompons, elles sont effectuées sur des tiges considérées individuellement, et non sur des peuplements entiers.

3. Ce Comité comprend : le directeur de l'École forestière, les professeurs de sylviculture et d'aménagement et l'agent chargé de l'exécution des recherches.

II. — Place de régénération, n° 1.

§ 1er. — *Description de la place d'expérience et inventaire d'installation.*

La place de régénération n° 1 a été installée vers la fin du mois d'octobre 1883. Elle est située dans la forêt domaniale de Haye, 2e série de futaie, parcelle E', canton des Trois-Fourchons.

Le terrain, absolument horizontal, se trouve à une altitude d'environ 300 mètres.

La terre végétale repose sur les calcaires de l'oolithe. Elle est formée d'argile, de silice et de chaux. Profonde de 0m,35 à 0m,40, et très perméable aux racines, on peut la considérer comme un sol forestier de qualité assez bonne.

On a donné à la place d'expérience une contenance de 1 hectare et, tout à l'entour, on a délimité une bande ou zone protectrice de 20 mètres de largeur, qui doit subir le même traitement que la place d'expérience elle-même, hormis toutefois les opérations d'inventaire.

Le peuplement, qui provient, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, d'un ancien taillis sous futaie, était déjà en voie de régénération[1] lorsqu'on a commencé les recherches. Voici comment il a été décrit à cette époque (octobre 1883).

Haut perchis sur souches, âgé d'environ 84 ans, d'apparence vigoureuse, principalement constitué par le hêtre et le charme. Quelques arbres plus âgés, de grosseur variable, surmontent ce perchis. État de massif à peine interrompu par places. Semis de hêtre et de charme fort inégal sous tous les rapports, — tantôt (moitié Est) complet et formant fourré, âgé de 8 à 15 ans, haut de 0m,50 à 2m,50, comprenant 9/10 de hêtre et 1/10 de charme, — tantôt (moitié

1. D'après le sommier de gestion de la forêt, la coupe d'ensemencement remonte à l'année 1874; elle a été faite très sombre. Cinq ans après, en 1879, on est venu de nouveau enlever quelques arbres, non pas dans le but d'opérer une coupe secondaire, mais simplement afin de diminuer l'épaisseur du couvert et de rétablir le degré de consistance jugé le plus apte à favoriser l'ensemencement.

Ouest) très incomplet, beaucoup plus jeune et composé à peu près également de hêtre et de charme.

L'inventaire d'installation, c'est-à-dire la détermination du matériel sur pied au début des recherches, a eu lieu au mois de mars 1884. Le vieux peuplement et le nouveau, ou semis, ont été cubés séparément.

Pour ce qui regarde le vieux peuplement, on a dénombré les tiges individuellement et on les a cubées ensuite par groupes ou catégories.

C'est la circonférence (et non le diamètre) que l'on a adoptée comme base, pour classer les tiges en catégories d'après leur grosseur ; et pour chaque arbre, cette grosseur a été prise à $1^{m},30$ au-dessus du sol (hauteur d'homme), sur une ceinture de couleur appliquée préalablement aux mesurages et destinée à servir de repère fixe pour toutes les mensurations de l'espèce.

Les instruments de mesurage sont des rubans en toile munis intérieurement de fils métalliques.

Dans les tableaux de dénombrement, la circonférence de chaque sujet a été inscrite en nombre entier de centimètres, les fractions égales ou supérieures à un demi-centimètre étant comptées comme une unité, et les fractions moindres étant, au contraire, négligées.

Le mode de cubage employé est exactement celui que nous avons décrit dans notre mémoire de 1877 sur les éclaircies[1]. Il consiste essentiellement à dresser un tarif donnant le *volume de la tige moyenne* pour chacune des catégories de grosseur du peuplement. Un certain nombre d'échelons de ce tarif, correspondant à des catégories convenablement espacées, sont obtenus *directement par l'abatage et le cubage de tiges types ou arbres d'expériences*. Les autres termes du tarif sont calculés au moyen d'interpolations que l'on opère en s'appuyant sur ce principe universellement admis en pareil cas, savoir : si deux arbres présentent à hauteur d'homme des circonférences peu différentes, on est en droit de les regarder comme ayant même hauteur et même forme, et par suite on peut admettre

1. Voir *Bulletin du ministère de l'agriculture,* année 1877, p. 372.

que leurs volumes sont entre eux comme les surfaces des circonférences mesurées à $1^{m},30$ au-dessus du sol.

Cette hypothèse est assurément très légitime pour le perchis d'âge uniforme qui constitue la partie principale du matériel soumis aux recherches. Elle est moins conforme à la réalité pour les gros arbres dont ce perchis est parsemé. Néanmoins le procédé de cubage en question nous a semblé pouvoir, sans inconvénient, être appliqué aux sujets de toutes catégories, grâce aux très nombreuses tiges d'expériences dont nous disposions et qui nous ont permis de rapprocher beaucoup les termes du tarif servant de base aux interpolations.

Nous avons dit plus haut que le hêtre et le charme formaient la presque totalité du vieux peuplement : aussi chacune de ces deux essences a-t-elle donné lieu à la construction d'un tarif de cubage spécial. Quant aux autres espèces de bois, faiblement représentées dans le matériel de recherches, on en a calculé le volume au moyen du tarif adopté pour les hêtres.

Les résultats de l'inventaire d'installation, en ce qui concerne le vieux peuplement, sont résumés dans le tableau A.

On remarquera que, dans l'expression du volume de chaque essence, nous avons établi une classification, très simple d'ailleurs, en vue de ne pas confondre les ramilles (que l'on façonne d'ordinaire en fagots) avec les portions d'un diamètre plus gros : sous la dénomination de *bois fort,* nous avons rangé les parties de la tige et des branches mesurant au moins $0^{m},20$ de tour, tandis que nous avons appelé *menu bois* tous les produits de même origine et de circonférence moindre[1].

---

1. Pour cuber le menu bois de nos tiges d'expériences, nous avons eu recours à un système mixte de pesées et d'immersion dans l'eau. Quant au bois fort il a été subdivisé en billons de 1 mètre de longueur, dont on a déterminé le volume géométriquement en les assimilant à des cylindres droits ayant pour base le cercle mesuré au milieu de la longueur de chacun d'eux.

Dans les sujets que nous avons abattus et cubés directement (tiges d'expériences), la proportion du bois fort, pour le hêtre, a varié de 81 p. 100 (perches) à 90 p. 100 (gros arbres) : en moyenne on peut l'évaluer à 84 p. 100. Pour le charme, la moyenne est un peu moins forte : 78 p. 100 seulement, les écarts extrêmes étant 75 (perches) et 82 (arbres).

Nous avons également fait figurer, dans ledit tableau, ainsi que dans tous nos résumés d'inventaire, la somme des surfaces transversales des tiges mesurées à $1^{m},30$, autrement dit la *surface terrière*. En outre de l'intérêt qu'offre l'étude de ses variations [1], cette donnée a eu pour nous une utilité immédiate, en nous permettant d'obtenir, par une simple division, suivie d'une recherche rapide dans des tables spéciales, la circonférence de la tige moyenne de chaque essence.

Tableau A. — Inventaire d'installation. (Mars 1884.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	Volume.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Moyenne.	Minima.	Maxima.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	centim.	centim.	centim.
Hêtre [1]	139	10,32	127,3	24,1	151,4	97	35	210
Charme [2]	256	9,85	95,3	26,0	121,3	70	37	148
Chêne [3]	8	0,83	12,7	2,2	14,9	114	54	235
Diverses [4]	17	0,61	6,0	1,0	7,0	67	51	89
Peuplement entier	420	21,61	241,3	53,3	294,6	80		

1. *Fagus sylvatica Lin.* — 2. *Carpinus betulus Lin.* — 3. *Quercus sessiliflora Smith.* — 4. Les essences groupées sous la rubrique *diverses* appartiennent aux espèces : *Acer campestre Lin.*, *Cerasus avium Cand.*, *Ulmus montana Smith*, et *Fraxinus excelsior Lin.*

Pour cuber le semis, il fallait évidemment recourir à un système tout différent. On a d'abord considéré comme quantité négligeable le volume des brins de semence situés dans la moitié Ouest de la place d'expérience (voir la description du peuplement). Puis, à l'égard du fourré couvrant la moitié Est, on a procédé par voie de recépage, non dans la place d'expérience elle-même, mais dans la bande d'entourage où l'on a rasé le semis sur 5 petites placettes de 1 mètre carré chacune, soit, en tout, sur $\frac{1}{20}$ d'are. Le volume des brins coupés sur cette surface a été déterminé par immersion dans l'eau ; en multipliant ce volume par $\frac{50}{1/20}$ ou 1000, on a obtenu le chiffre

1. Cette étude, à laquelle nos relevés serviront de base, sera peut-être entreprise quelque jour par la station d'expériences de l'École forestière.

de 2^{mc},8, qui a été regardé comme le cube du semis existant sur toute la place d'expérience.

§ 2. — *Exécution de la 1re coupe secondaire.*

Étant donnés la consistance du vieux peuplement, ainsi que l'état du semis à l'époque de l'installation, on a jugé opportun d'effectuer une coupe secondaire immédiatement après l'inventaire dont nous venons d'indiquer les résultats.

En procédant à l'exécution de cette coupe, on s'est attaché à ne créer que de petites trouées, réparties aussi également que possible sur l'ensemble de la place. Dans ce but, on a extrait sur chaque point une seule tige, ou deux au plus, lorsqu'on avait affaire à des perches de faibles dimensions. L'exploitation ainsi conduite a eu pour effet de rompre partout le massif et d'isoler partiellement la cime de chacun des porte-graines conservés.

Les tiges désignées pour tomber dans la coupe secondaire ont été cubées au moyen des tarifs employés pour l'inventaire d'installation. Elles ont fourni les chiffres suivants :

Tableau B. — Matériel enlevé par la 1re coupe secondaire. (Mars 1884.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	Volume.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Moyenne.	Minima.	Maxima.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	centim.	centim.	centim.
Hêtre	26	2,83	39,5	7,6	47,1	118	42	210
Charme	61	2,27	20,4	5,6	26,0	68	41	92
Chêne	1	0,02	0,2	»	0,2	54	54	54
Diverses	5	0,20	2,0	0,3	2,3	71	58	89
Peuplement entier	93	5,37	62,1	13,5	75,6	85		

Quant à la partie du vieux repeuplement restant debout après l'exécution de ladite coupe, en voici la composition :

Tableau C. — Matériel restant sur pied après la 1re coupe secondaire. (Mars 1884.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	Volume.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Moyenne.	Minima.	Maxima.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	centim.	centim.	centim.
Hêtre	113	7,44	87,8	16,5	104,3	91	35	164
Charme	195	7,58	74,9	20,4	95,3	70	37	148
Chêne	7	0,81	12,5	2,2	14,7	121	65	235
Diverses	12	0,41	4,0	0,7	4,7	65	54	85
Peuplement entier	327	16,24	179,2	39,8	219,0	79		

La comparaison des deux tableaux A et B montre que, par la coupe secondaire, on a *réalisé 22 p. 100 du nombre des tiges préexistantes à cette opération et 25 p. 100 de leur volume;* d'où cette déduction (corroborée d'ailleurs par les chiffres des colonnes 7) que les arbres livrés à l'exploitation étaient un peu plus gros que la moyenne des sujets du peuplement initial.

De même, l'examen du tableau C permet de constater que, *sous le rapport du volume total* (colonnes 6), le matériel conservé temporairement au-dessus du semis se répartit de la manière suivante entre les diverses essences qui le constituent : hêtre $\frac{48}{100}$, charme $\frac{43}{100}$, chêne $\frac{7}{100}$, espèces diverses $\frac{2}{100}$.

Nous allons voir comment s'est accru ce matériel, ainsi brusquement *diminué d'un quart de son volume,* et formé par une réunion d'arbres ayant leur cime en état d'isolement plus ou moins complet.

§ 3. — *Deuxième inventaire du vieux peuplement. Accroissement et taux d'accroissement pendant la période 1884-1887.*

Au mois d'octobre 1887, le vieux peuplement a subi un deuxième inventaire effectué selon les mêmes procédés que le cubage de 1884, et dont les résultats sont consignés dans le cadre D, disposé d'autre part. Quant au fourré, on a jugé que sa croissance n'était pas assez

rapide pour qu'il y eût intérêt à déterminer de nouveau son volume après un laps de temps aussi court.

Tableau D. — Matériel sur pied lors du 2e inventaire. (Mars 1887.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	Volume.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Moyenne.	Minima.	Maxima.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	centim.	centim.	centim.
Hêtre	113	8,69	106,0	19,9	125,9	98	37	169
Charme	195	8,08	81,0	21,6	102,6	72	37	149
Chêne	7	0,85	13,0	2,3	15,3	123	69	238
Diverses	12	0,44	4,3	0,8	5,1	68	56	89
Peuplement entier	327	18,06	204,3	44,6	248,9	83		

Le rapprochement des tableaux C et D nous a livré : 1° *l'accroissement annuel moyen* du vieux peuplement et de chaque essence en particulier, durant la période des quatre années 1884-1887 ; 2° les *taux* ou *tant pour cent d'accroissement* correspondant à cette même période.

Il est clair, en effet, que pour savoir quel a été, en bois fort, en menu bois et en volume total l'accroissement annuel moyen de l'ensemble des porte-graines laissés debout en 1884, il a suffi d'opérer une série de soustractions entre les totaux des colonnes 4 à 6 du tableau D et les nombres similaires du tableau C, puis de diviser les différences par 4 ; car il s'est bien écoulé 4 saisons complètes de végétation entre le passage de la coupe secondaire et l'époque du deuxième inventaire. Un calcul analogue nous a donné le volume incorporé, année moyenne, par chaque essence, considérée séparément.

Quant aux pourcentages d'accroissement, on les a calculés en rapportant les chiffres d'accroissement annuel moyen aux cubes du matériel générateur, c'est-à-dire aux nombres de la colonne 6 du tableau C.

Voici les résultats obtenus :

Tableau E. — Accroissement annuel moyen et taux d'accroissement pendant la période quadriennale 1884-1887.

ESSENCES.	ACCROISSEMENT ANNUEL par hectare.			TAUX D'ACCROISSEMENT p. 100.		
	Bois fort.	Menu bois.	Volume total.	Bois fort.	Menu bois.	Volume total.
1	2	3	4	5	6	7
	m. c.	m. c.	m. c.			
Hêtre	4,55	0,85	5,40	4.36	0.81	5.17
Charme	1,52	0,30	1,82	1.60	0.31	1.91
Chêne.	0,12	0,03	0,15	0.82	0.20	1.02
Diverses.	0,08	0,02	0,10	1.70	0.43	2.13
Peuplement entier. . .	6,27	1,20	7,47	2.86	0.55	3.41

§ 4. — *Interprétation des résultats numériques.*

Les résultats consignés au tableau qui précède se prêtent à plusieurs remarques nous paraissant dignes d'intérêt.

α) *Durant la période 1884-1887, le vieux peuplement, bien que privé d'un quart de son matériel par la coupe secondaire, s'est accru de 7^{mc},47 par année moyenne : telle a donc été la production ligneuse du sol par hectare,* abstraction faite de l'appoint (volontairement omis dans nos calculs, et sans doute fort minime) qu'a dû fournir, de son côté, le jeune recrû de futaie.

Étant donné qu'il s'agit d'essences feuillues et que le sol de la place d'expérience est simplement de qualité assez bonne, c'est là certainement un chiffre élevé et très satisfaisant. Nous voudrions pouvoir comparer cette production avec la quantité dont le massif s'accroissait, chaque année, d'abord avant 1884, puis avant 1874, date de la coupe d'ensemencement. Mais, à notre grand regret, ces rapprochements sont impossibles, par suite de l'absence de toute information précise sur la végétation du peuplement, jusqu'au jour où nous l'avons soumis à nos recherches[1].

---

1. Les sommiers de gestion tenus, depuis 1861, pour les 8 séries de la forêt domaniale de Haye que l'on convertit en futaie pleine, accusent un rendement moyen de moins de 4 mètres cubes par hectare et par an. Mais ce nombre, il importe de le remarquer, ne doit pas être considéré comme exprimant la production réelle du sol; il représente

β) Si l'on examine les colonnes 5 et 6 du tableau E, on constate que le taux d'accroissement afférent au bois fort est beaucoup plus élevé que celui du menu bois : ces deux coefficients sont entre eux comme 5,4 est à 1 pour le hêtre, comme 5,2 est à 1 pour le charme et le peuplement entier, enfin comme 4 est à 1 pour ce qui regarde le chêne et les essences diverses. Naturellement les mêmes relations existent entre les nombres des colonnes 2 et 3 qui expriment les accroissements absolus. Aussi, dans le total de la colonne 4, le menu bois n'entre-t-il que pour une fraction minime, moindre que $\frac{1}{6}$; les cinq autres sixièmes sont du bois fort, c'est-à-dire des produits ligneux d'un calibre relativement gros.

La production ligneuse, après la coupe secondaire, a donc été satisfaisante, non seulement par la quantité, mais encore par la qualité des produits élaborés.

γ) *Pour des bois de même âge, intimement associés dans un peuplement et soumis aux mêmes conditions de milieu, mais appartenant à des essences différentes, le pouvoir producteur* (mesuré par le taux d'accroissement, tel que nous l'avons établi dans le tableau E) *peut varier dans de larges limites.*

Le taux d'accroissement du hêtre, par exemple, s'est élevé à 5.17, tandis que celui du charme n'a atteint que 1.91. Le hêtre a donc crû 2,7 fois plus vite que le charme.

Si, d'après ces chiffres, on calcule ce que nous appellerons le *denier d'accroissement,* c'est-à-dire le capital-bois générateur de 1 mètre cube de matière ligneuse chaque année, on trouve 52 pour le charme et 19 seulement pour le hêtre. A supposer qu'un pareil écart fût un fait constant, on devrait évidemment en tenir compte dans la

---

simplement le *revenu en matière tiré de la forêt,* ce qui est tout autre chose. Et puis, on ignore si, à l'égard du sol et du peuplement, la place d'expérience qui nous occupe correspond au type moyen de l'ensemble des séries d'exploitation considérées. Aussi, pour ces deux raisons, serait-il peu scientifique et peu concluant de mettre en parallèle le cube d'accroissement inscrit au tableau E et le chiffre de rendement révélé par les sommiers de gestion de la forêt.

Nous ajouterons, à titre de simple indication, que dans nos recherches sur les effets des éclaircies, la plus forte production annuelle, à l'hectare, que nous ayons constatée dans la forêt de Haye, est de 7^{mc},98; elle nous a été fournie par un perchis de 30 ans, bien plein et renfermant à peu près 70 p. 100 de hêtre.

pratique des coupes secondaires, et, pour cela, abattre les charmes de préférence aux hêtres, toutes les fois, bien entendu, que des considérations culturales ou économiques n'imposeraient pas l'obligation d'agir autrement.

δ) *Non seulement le pouvoir producteur varie d'une essence à l'autre, mais cette faculté offre des différences très sensibles pour une même espèce ligneuse, suivant la grosseur ou l'âge des sujets considérés.* C'est ce dont nous avons pu nous assurer à l'égard des deux essences prédominantes du peuplement, grâce aux chiffres de détail contenus dans les calepins de cubage.

En ce qui concerne le hêtre, les gros ou vieux bois (13 arbres mesurant plus de $1^m,20$ de tour en 1884) se sont accrus au taux de 3.1 p. 100 seulement, tandis que les bois d'âge moyen ($1^m,20$ de circonférence et au-dessous) présentent un taux égal à 6.1, c'est-à-dire presque double. De même, pour les charmes d'âge moyen (1 mètre de circonférence et au-dessous) le taux d'accroissement a atteint 2 p. 100, alors que pour les vieux charmes (4 arbres de plus de 1 mètre) ce coefficient est resté inférieur à l'unité (exactement 0.7).

Ces constatations, d'ordre économique, viennent heureusement à l'appui de la règle par laquelle les sylviculteurs recommandent de mettre à profit le passage de la 1re coupe secondaire pour exploiter les plus gros arbres, par la raison que ce sont les plus touffus et, partant, les plus nuisibles aux jeunes brins de semence nés sous leur projection. Il est clair, en effet, que de deux coupes secondaires effectuées dans des peuplements semblables, toutes deux ayant même volume, mais l'une enlevant les vieux bois et l'autre les bois moyens, c'est la première de ces opérations qui serait suivie de la plus grande production ligneuse.

ε) Envisagé dans son ensemble, notre vieux peuplement s'est accru au taux de 3.41 p. 100 et, par conséquent, au denier 29 $\left(\frac{100}{3.41}\right)$. Les choses se sont donc passées comme si, dans le matériel laissé debout par la coupe secondaire de 1884, chaque fraction de volume égale à 29 mètres cubes avait donné lieu à une production annuelle de 1 mètre cube. Appliquons cette considération à une question d'aménagement.

Admettons, par exemple, que pour une certaine partie de forêt

(affectation) couverte d'un peuplement identique à celui qui nous occupe, le règlement d'exploitation prescrive d'achever la régénération dans un délai ou une période de 30 ans. Admettons en outre que, selon un usage assez général, on se décide à ne pas tenir compte de l'accroissement futur dans le calcul de la possibilité. Qu'arriverait-il ?

Les coupes de régénération seraient taxées à $\frac{1}{30}$ du volume inventorié V, et c'est cette fraction de matériel qu'elles enlèveraient annuellement. D'un autre côté, l'accroissement incorporé pendant la 1re année serait égal au quotient de V par le denier adopté, c'est-à-dire $\frac{V}{29}$. A la fin de l'exercice, le cube des bois sur pied n'aurait donc pas subi de diminution ; il aurait, au contraire, bénéficié de la différence entre $\frac{V}{29}$ et $\frac{V}{30}$. Puis, après la seconde année, nouvelle augmentation encore plus forte que la précédente, et ainsi de suite. Viendrait-on, au bout d'une décennée, à effectuer une vérification ? L'inventaire exécuté dans ce but montrerait qu'on se trouve en présence d'un matériel T, sensiblement supérieur au matériel primitif. Comme il ne resterait plus que 20 années à courir jusqu'à la fin de la période, la possibilité des coupes de régénération serait fixée à $\frac{T}{20}$; elle serait donc brusquement augmentée de plus d'un tiers, et l'on comprend sans peine qu'une seconde révision, opérée après 10 ans d'intervalle, lui ferait subir une hausse nouvelle. De pareils soubresauts, très gênants pour la bonne application des règles culturales, seraient en opposition complète avec la condition essentielle de tout aménagement de forêt : le rapport soutenu.

Or, le cas que nous venons d'analyser n'est pas purement hypothétique. Beaucoup de révisions de possibilité ont révélé des situations sinon tout à fait semblables, du moins très approchantes, et ont prouvé, comme notre expérience, que *l'accroissement futur des peuplements en cours de régénération représente, en maintes circonstances, une quantité trop considérable pour qu'on puisse le négliger sans inconvénient*[1].

---

1. S'il était besoin d'appuyer cette assertion par des exemples, nous citerions : 1° les séries nos 4 et 8 de la forêt domaniale de Haye, pour lesquelles la révision

§ 5. — *Exécution de la 2e coupe secondaire.*

Une deuxième coupe secondaire, rendue indispensable par les progrès du semis, a été effectuée immédiatement après l'inventaire dont nous venons d'analyser les résultats. Exécutée dans le même esprit que la coupe de 1884, cette exploitation a eu pour effet d'élargir les trouées déjà existantes et d'accentuer l'isolement des cimes. Il suffit, au surplus, de comparer les chiffres du tableau F (disposé ci-après) à ceux du tableau D (colonnes 2 et 6) pour voir qu'elle a fait disparaître 29 p. 100 du nombre des tiges et 33 p. 100 du volume total sur pied. D'où l'on peut conclure : 1° qu'en 1887, comme en 1884, on a réalisé principalement les gros arbres (ce que confirment les nombres des colonnes 7 et 9) ; 2° que la 2e coupe secondaire a eu une intensité *relative* un peu plus grande que la première. Ajoutons que sous le rapport de l'intensité *absolue* (tableaux F et B, colonne 6, totaux) il n'y a également qu'une différence minime entre les deux opérations (84^{mc},4 d'un côté et 75^{mc},6 de l'autre).

Tableau F. — Matériel enlevé par la 2e coupe secondaire. (Octobre 1887.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	Volume.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Moyenne.	Minima.	Maxima.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	centim.	centim.	centim.
Hêtre	35	3,36	43,9	8,1	52,0	110	58	169
Charme	61	2,51	25,5	6,9	32,4	72	40	149
Peuplement entier. . . .	96	5,87	69,4	15,0	84,4	88		

exécutée en 1884 aurait, en règle stricte, conduit à doubler la possibilité pour les 10 dernières années de la période ; — 2° la série n° 1 de la forêt domaniale de Champenoux, où, par suite de la vérification faite l'an dernier, au milieu de la période, la possibilité passera subitement de 1116 à 1782 mètres cubes.

Nous pourrions également invoquer le témoignage de M. Brenot, inspecteur des forêts, qui, dans une brochure intitulée : *l'Aménagement des forêts,* s'exprime ainsi (page 7) : « En réalité, il est arrivé dans des révisions de possibilité, de constater que non seulement le matériel dénombré pour le calcul de la possibilité ne diminuait pas, mais encore qu'il augmentait. »

Quelle influence cette nouvelle coupe de régénération exercera-t-elle sur la production annuelle de la place d'expérience ? A quel taux va s'accroître le matériel laissé debout, matériel dont le tableau ci-dessous donne la composition ? c'est ce que montrera la suite des recherches.

Tableau G. — Matériel restant sur pied après la 2e coupe secondaire. (Octobre 1887.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	Volume.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Moyenne.	Minima.	Maxima.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	centim.	centim.	centim.
Hêtre	78	5,33	62,1	11,8	73,9	93	37	143
Charme	134	5,57	55,5	14,7	70,2	72	37	112
Chêne.	7	0,85	13,0	2,3	15,3	123	69	238
Diverses.	12	0,41	4,3	0,8	5,1	68	56	89
Peuplement entier	231	12,19	134,9	29,6	164,5	81		

III. — Place de régénération n° 2.

§ 1er. — *Description de la place d'expérience et inventaire d'installation.*

Cette place d'expérience, dont l'installation remonte au commencement de l'année 1884, est située dans la forêt domaniale de Champenoux (1re série, parcelle O'), en terrain plat, à une altitude approximative de 250 mètres.

Sa contenance est de 1/2 hectare, non compris une bande d'entourage de 20 mètres de largeur.

La base minéralogique appartient à la formation liasique (calcaires à gryphées arquées). La terre végétale est formée par les argiles du lias, recouvertes d'alluvions modernes argilo-siliceuses. Elle est fraîche, profonde (au moins $0^m,40$ à $0^m,50$), mais un peu trop compacte. Aussi le sol forestier qu'elle constitue est-il, selon toute vraisemblance, de qualité un peu moindre que celui de la place de régénération n° 1.

Le peuplement, lorsqu'on l'a choisi pour des recherches, n'avait pas encore été entamé par les coupes de régénération, et il se trouvait à l'état de massif très serré. C'était un perchis *sur souches,* élancé, d'aspect vigoureux, âgé d'environ 80 ans, englobant çà et là quelques vieilles écorces. A côté des essences charme et tilleul, très prédominantes dans le perchis, on rencontrait le chêne, le hêtre, puis le tremble. Sous-bois à peu près nul ; sol meuble à la surface et bien préparé à recevoir la graine, mais pas le moindre semis préexistant.

Nous avons dénombré et cubé le matériel sur pied, en suivant le même procédé et en nous entourant des mêmes garanties d'exactitude que pour la place n° 1. Voici les résultats de ce premier inventaire, rapportés à l'unité de surface [1].

Tableau H. — Inventaire d'installation. (Mars 1884.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	Volume.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Moyenne.	Minima.	Maxima.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	centim.	centim.	centim.
Charme [1]	594	11,69	135,3	36,5	171,8	56	21	154
Tilleul [2]	162	6,81	77,0	16,2	93,2	73	25	132
Chêne [3]	38	3,18	39,9	7,8	47,7	103	50	204
Hêtre [4]	60	3,17	38,0	7,4	45,4	82	27	146
Tremble [5]	6	0,40	4,7	0,9	5,6	92	87	95
Peuplement entier	860	28,25	294,9	68,8	363,7	64		

1. *Carpinus betulus Lin.* — 2. *Tilia parvifolia Ehrh.* — 3. *Quercus pedunculata Ehrh.* — 4. *Fagus sylvatica Lin.* — 5. *Populus tremula Lin.*

§ 2. — *Exécution de la coupe d'ensemencement.*

La coupe d'ensemencement a été effectuée dans la première quinzaine du mois de mars 1884. On l'a faite *très sombre,* ce qui signifie,

1. C'est seulement pour chacune des deux essences prédominantes, le charme et le tilleul, que nous avons construit, de toutes pièces, un tarif de cubage. Les trembles ont été cubés avec le tarif des tilleuls; quant aux chênes et aux hêtres, on leur a appliqué le tarif adopté pour les hêtres dans la place de régénération n° 1, qui réunit des conditions de végétation à peu près semblables.

comme nous l'avons expliqué à la note de la première page, que, seules, les perches dominées et une partie des tiges retardataires[1] ont été extraites. Aussi l'opération a-t-elle peu modifié la consistance originelle du peuplement : laissant subsister l'état de massif, elle a simplement substitué le degré de massif *clair* au degré *très serré*. Cela permettra d'étudier la production du peuplement à des états de desserrement aussi gradués que possible.

Mesurées avant leur abatage et cubées à l'aide des tarifs adoptés, les perches désignées pour l'exploitation ont fourni les données numériques ci-après, desquelles il résulte que la coupe d'ensemencement a fait disparaître 37 p. 100 du nombre initial des tiges, et seulement 14 p. 100 du volume total : preuve manifeste que ces perches étaient, en général, d'un faible calibre.

Tableau J. — Matériel enlevé par la coupe d'ensemencement. (Mars 1884.)

ESSENCES.	PAR HECTARE. Nombre de tiges.	Surface terrière.	Volume. Bois fort.	Menu bois.	Total.	CIRCONFÉRENCE de la tige. Moyenne.	Minima.	Maxima.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	centim.	centim.	centim.
Charme	228	2,73	19,3	6,4	25,7	39	21	72
Tilleul	60	1,32	12,9	2,6	15,5	53	25	101
Chêne	4	0,11	1,0	0,2	1,2	59	52	67
Hêtre	22	0,33	2,5	0,9	3,4	43	27	55
Tremble	6	0,40	4,7	0,9	5,6	92	87	95
Peuplement entier	320	4,89	40,4	11,0	51,4	44		

Quant aux bois restant sur pied après ladite coupe, ils figurent dans le tableau suivant, et l'on peut noter *qu'au point de vue du volume total,* ils se répartissent ainsi entre les diverses essences : 47 p. 100 de charme, 25 p. 100 de tilleul, 15 p. 100 de chêne et 13 p. 100 de hêtre.

1. On s'est cependant attaché à mettre en liberté la cime des chênes, afin de favoriser la fructification.

Tableau K. — Matériel restant sur pied après la coupe d'ensemencement. (Mars 1884.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	Volume.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Moyenne.	Minima.	Maxima.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	centim.	centim.	centim.
Charme	366	11,96	116,0	30,1	146,1	64	31	154
Tilleul	102	5,49	64,1	13,6	77,7	82	44	132
Chêne.	34	3,07	38,9	7,6	46,5	106	50	204
Hêtre	38	2,84	35,5	6,5	42,0	97	38	146
Peuplement entier. . . .	540	23,36	254,5	57,8	312,3	74		

§ 3. — *Deuxième inventaire. Accroissement et taux d'accroissement pendant la période 1884-1887.*

Nous avons dénombré et cubé de nouveau, au mois d'octobre 1887[1], les 540 tiges formant notre peuplement, afin d'étudier leur accroissement durant les 4 années 1884-1887. Ce deuxième inventaire nous a fourni les chiffres suivants :

Tableau L. — Matériel sur pied lors du 2e inventaire. (Octobre 1877.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	Volume.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Moyenne.	Minima.	Maxima.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	centim.	centim.	centim.
Charme	366	12,32	120,7	31,4	152,1	65	32	158
Tilleul	102	5,92	68,3	14,5	82,8	85	41	137
Chêne.	34	3,20	40,7	7,9	48,6	109	50	206
Hêtre	38	3,18	40,9	7,2	48,1	103	39	155
Peuplement entier. . . .	540	24,62	270,6	61,0	331,6	76		

1. Voici les particularités culturales que nous avons relevées au cours de cet inventaire : existence de quelques semis de hêtre âgés de 2 ans, et d'assez nombreux semis de charme nés au printemps de 1887, pieds de ronces disséminés, rejets de souche insignifiants, couverture de feuilles mortes assez abondante; enfin, état superficiel du sol satisfaisant.

Des données contenues dans les 2 tableaux qui précèdent, nous avons déduit l'accroissement absolu et le taux d'accroissement, au moyen de calculs tout à fait analogues à ceux dont nous avons expliqué le mécanisme à la page 463.

Tableau M. — Accroissement annuel moyen et taux d'accroissement pendant la période quadriennale 1884-1887.

ESSENCES.	ACCROISSEMENT ANNUEL par hectare.			TAUX D'ACCROISSEMENT pour 100.		
	Bois fort.	Menu bois.	Volume total.	Bois fort.	Menu bois.	Volume total.
1	2	3	4	5	6	7
	m. c.	m. c.	m. c.			
Charme	1,18	0,32	1,50	0.81	0.22	1.03
Tilleul	1,05	0,23	1,28	1.35	0.30	1.65
Chêne.	0,45	0,07	0,52	0.97	0.15	1.11
Hêtre	1,35	0,18	1,53	3.21	0.43	3.64
Peuplement entier. . .	4,03	0,80	4,83	1.29	0.25	1.54

§ 4. — *Interprétation des résultats numériques.*

Les conclusions à tirer du tableau M sont conformes à celles que nous avons développées en étudiant la place de régénération n° 1. Ainsi nous voyons :

1° Que la production annuelle moyenne à l'hectare, représentée par un volume de près de 5 mètres cubes, se compose d'environ 5/6 bois fort et 1/6 menu bois.

2° Que l'ensemble du peuplement s'est accru à un taux assez élevé (1.54 p. 100) pour que l'accroissement futur méritât d'entrer en ligne de compte, si l'on avait à déterminer la possibilité des coupes de régénération ;

3° Qu'il y a de grandes inégalités entre les tant pour cent d'accroissement des diverses espèces ligneuses qui constituent le peuplement. C'est le charme qui a fonctionné au taux le plus faible : son denier d'accroissement se chiffre par 97, tandis que celui du chêne est exprimé par 90, celui du tilleul par 60.6 et celui du hêtre par 27.5 seulement. Aussi les nombres de la colonne 4 du tableau M, qui expriment l'augmentation de volume prise annuellement par les tiges

de chaque essence, sont-ils loin d'être en rapport avec les coefficients de proportionnalité indiqués dans l'alinéa qui précède le tableau K.

Il serait superflu d'insister sur ces constatations et sur les enseignements qui en découlent : nous ne pourrions que nous répéter. Aussi terminerions-nous ici même notre exposé s'il n'y avait dans les données similaires des tableaux E et M certaines inégalités, trop considérables pour ne pas mériter une mention spéciale.

Ainsi la production de la place d'expérience n° 1 a dépassé de beaucoup celle de la place n° 2 : $7^{mc},47$ d'un côté et $4^{mc},83$ seulement de l'autre. L'écart est de $2^{mc},54$. Et cependant le peuplement de Champenoux, après la coupe d'ensemencement (tableau K), se trouvait de moitié plus riche que celui de la forêt de Haye après la première coupe secondaire (tableau C) ; de sorte que l'accroissement, et par suite le taux d'accroissement, ont été presque inversement proportionnels au cube du matériel producteur.

Ce résultat tient, pour une grande partie, à *l'inégale composition des peuplements au point de vue des essences,* car, ainsi que nous l'avons fait ressortir, le peuplement n° 1 était, au début de la période quadriennale 1884-1887, formé pour la moitié environ par le hêtre, essence à accroissement rapide, tandis que dans le peuplement n° 2 le hêtre entrait à peine pour 1/8, les sept autres huitièmes étant constitués par des espèces à pouvoir producteur faible ou très faible. Nul doute que cette circonstance défavorable ait eu pour effet d'abaisser le taux d'accroissement de l'ensemble du peuplement n° 2, et conséquemment de réduire le quantum de la production ligneuse.

D'autres causes (fertilité du sol, consistance et traitement antérieur des peuplements) pourraient être invoquées pour expliquer la supériorité des chiffres fournis par le peuplement n° 1. Mais l'intervention de ces facteurs est simplement probable, et non pas certaine. Aussi nous bornerons-nous à les énumérer, estimant qu'en l'état actuel de nos recherches, une plus longue discussion sur ce sujet serait prématurée.

Nancy le 28 juin 1888.

TABLE DES MATIÈRES

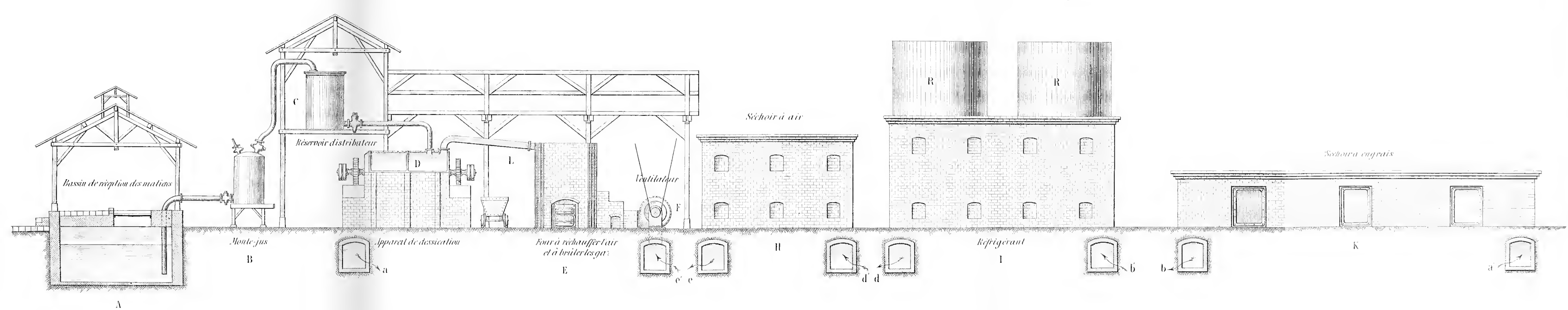
DU TOME PREMIER (1888)

Pages.

Nancy, impr. Berger-Levrault et Cie.

PL. I

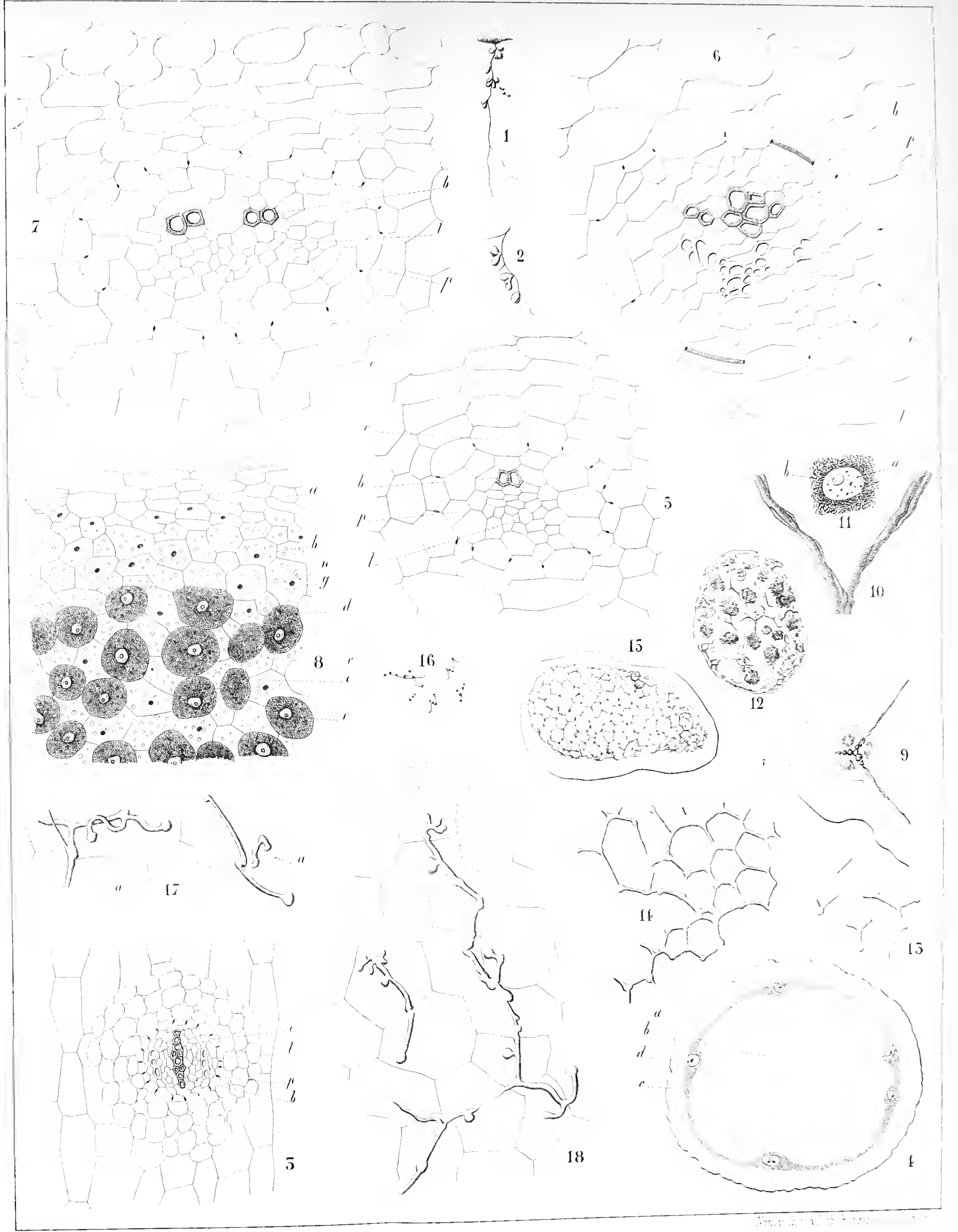
TRAITEMENT DES ENGRAIS ORGANIQUES (Systeme GUILLAUME Bté s g d g.)



EXPLICATION DES FIGURES DE LA PLANCHE II.

(Les nombres placés entre [ ] à la suite de la légende indiquent le grossissement.)

1. — *Trifolium pratense.* — Radicelle chargée de tubercules [$\frac{1}{1}$].
2. — *Cracca minor.* — Tubercules dichotomes [$\frac{1}{1}$].
3. — *Melilotus macrorhiza.* — Coupe tangentielle d'une radicelle, passant par la base d'un tubercule (*e*, endoderme ; *p*, péricycle ; *l*, liber ; *b*, bois).
4. — *Trigonella hybrida.* — Coupe transversale d'un tubercule daus la région moyenne (*a*, zone corticale ; *b*, zone médullaire avec cellules spéciales ; *c*, gaine amylacée dans laquelle sont logés [*d*] les faisceaux) [30].
5. — *T. h.* — Faisceau isolé (lettres comme dans la fig. 3) [475].
6. — *T. h.* — Faisceau se bifurquant. Cloisonnement du péricycle (mêmes lettres) [475].
7. — *Dorycnium herbaceum.* — Faisceau à péricycle plurisérié (mêmes lettres) [475].
8. — *D. h.* — Fragmeut de tubercule (*a*, liège ; *b*, tissu cortical ; *c*, tissu médullaire ; *d*. cellules spéciales ; *e*, cellules amylacées ; *g*, grain d'amidon ; *n*, *n*, noyaux) [224].
9. — *Medicago disciformis.* — Fragment d'une coupe longitudinale de tubercule, montrant l'insertion d'une racine double (*r*, racine mère) [67].
10. — *Medicago lupulina.* — Dichotomie d'uu cordon ligueux dans le tubercule [158].
11. — *Dorycnium herbaceum.* — Noyau d'une cellule spéciale (*a*, granulations chromatiques ; *b*, nucléole) [650].
12. — *Vicia hirsuta.* — Cellule spéciale d'une tranche laissée dans l'eau depuis 24 heures ; le réseau cytoplasmique est en partie détruit ; on voit des boules granuleuses dans les mailles [650].
13. — *V. h.* — Cellule traitée de la même façon, dans laquelle le réseau cytoplasmique est devenu très appareut [650].
14. — *V. h.* — Fragment du réseau cytoplasmique [1850].
15. — *Melilotus macrorhiza.* — Bactéroïdes provenant de la dissociation du réseau cytoplasmique [1850].
16. — *Trifolium pratense.* — Bactéroïdes présentant des granulations très réfringentes [650].
17. — *T. p.* — Filaments mycéliens (*a a*, membranes cellulaires) [650].
18. — *Vicia hirsuta.* — Filaments traversant de nombreuses cellules [550].



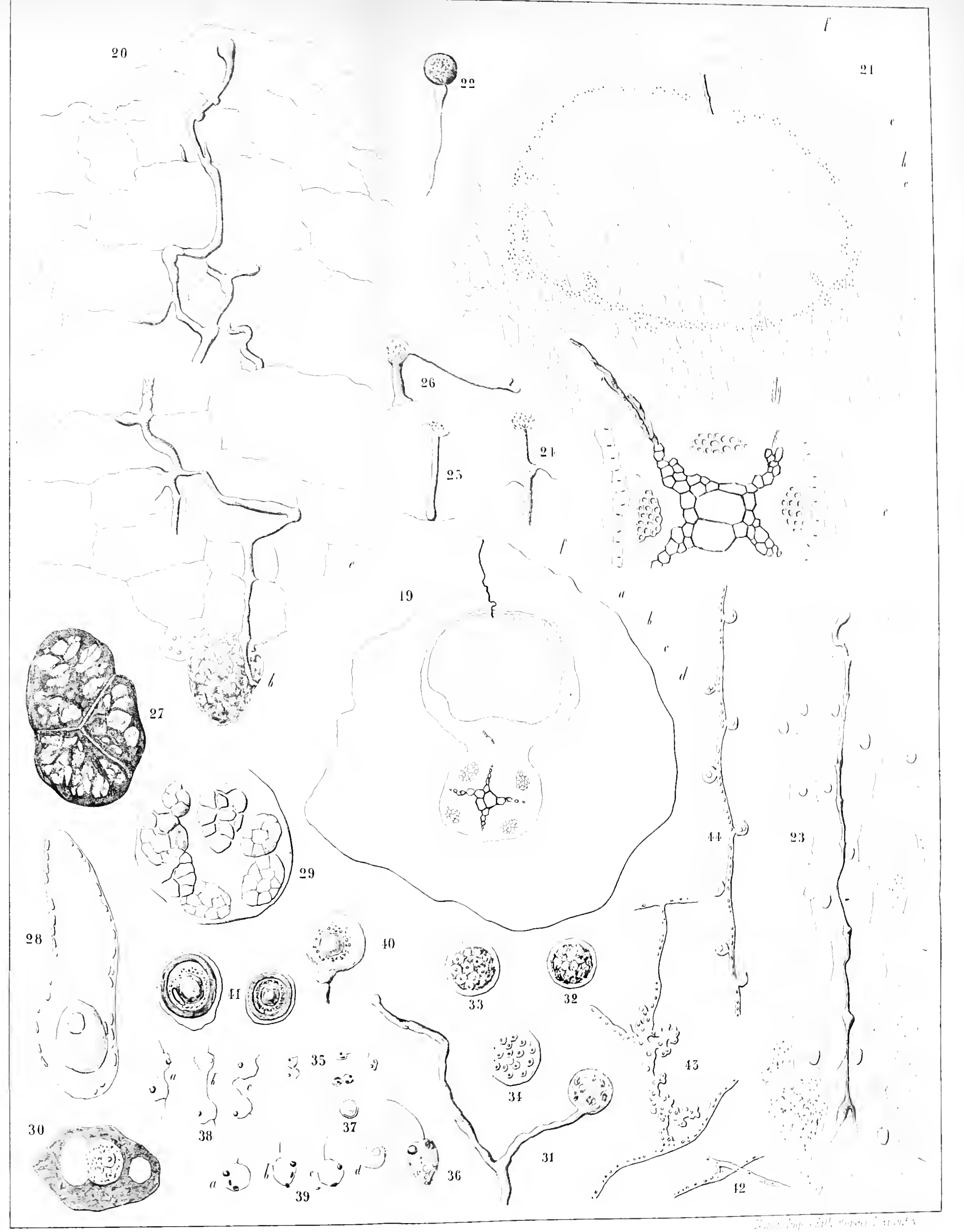
P. Vuillemin del.

EXPLICATION DES FIGURES DE LA PLANCHE III.

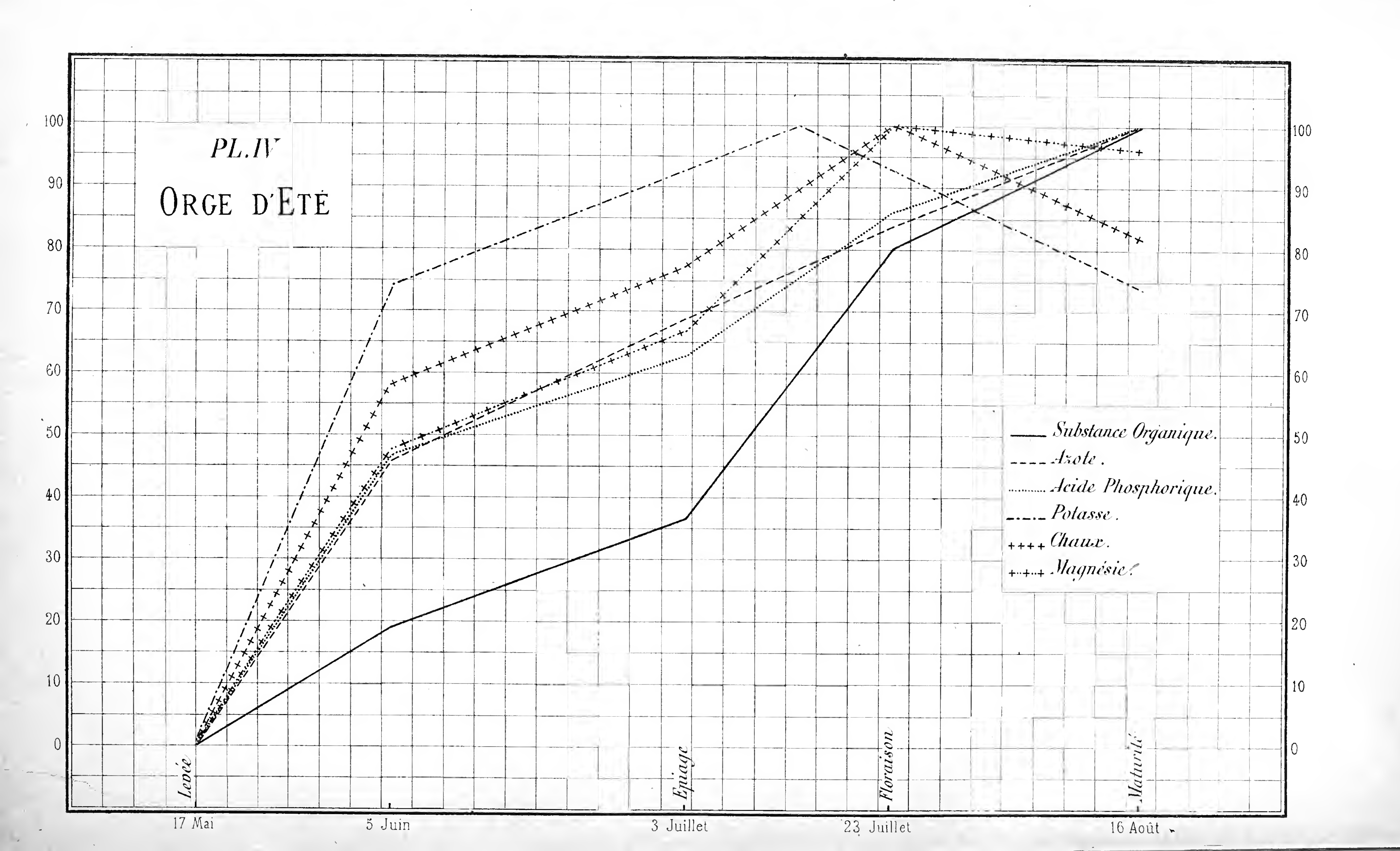
19. — *Galega officinalis.* — Coupe passant par l'axe d'une radicelle tuberculeuse simple (*a, b, c, d* comme dans la fig. 4; *f*, filament infectant ayant pénétré en face du bois du pivot) [67].
20. — Même coupe. — Région de l'écorce traversée par le filament infectant (*e*, endoderme; *b*, cellule spéciale dans laquelle le filament a pénétré) [475].
21. — *G. o.* — Coupe passant par l'axe d'une radicelle tuberculeuse double (*b*, tissu bactéroïdien; *c*, tissu cortical amylacé; *e*, endoderme; *f*, filament infectant ayant pénétré en face du liber du pivot) [158].
22. — *Medicago disciformis.* — Jeune sporange dans un vieux tubercule [650].
23. — *Vicia hirsuta.* — Renflement qui paraît être un jeune sporange [650].
24. — *V. h.* — Filament de tubercule portant un sporange isolé par une cloison [650].
25. — Autre sporange dont la membrane est en partie détruite [650].
26. — Autre sporange qui, après s'être isolé par une cloison, émet un tube (comme certains sporanges de *Mucor*) [650].
27. — *Dorycnium herbaceum.* — Membrane d'une cellule spéciale traitée par le chloro-iodure de zinc [475].
28. — *Melilotus officinalis.* — Première apparition de l'amidon dans une cellule spéciale d'un tubercule très jeune [650].
29. — *Vicia sepium.* — Cellule spéciale remplie d'amidon [650].
30. — *Melolitus officinalis.* — Jeune cellule spéciale [650].

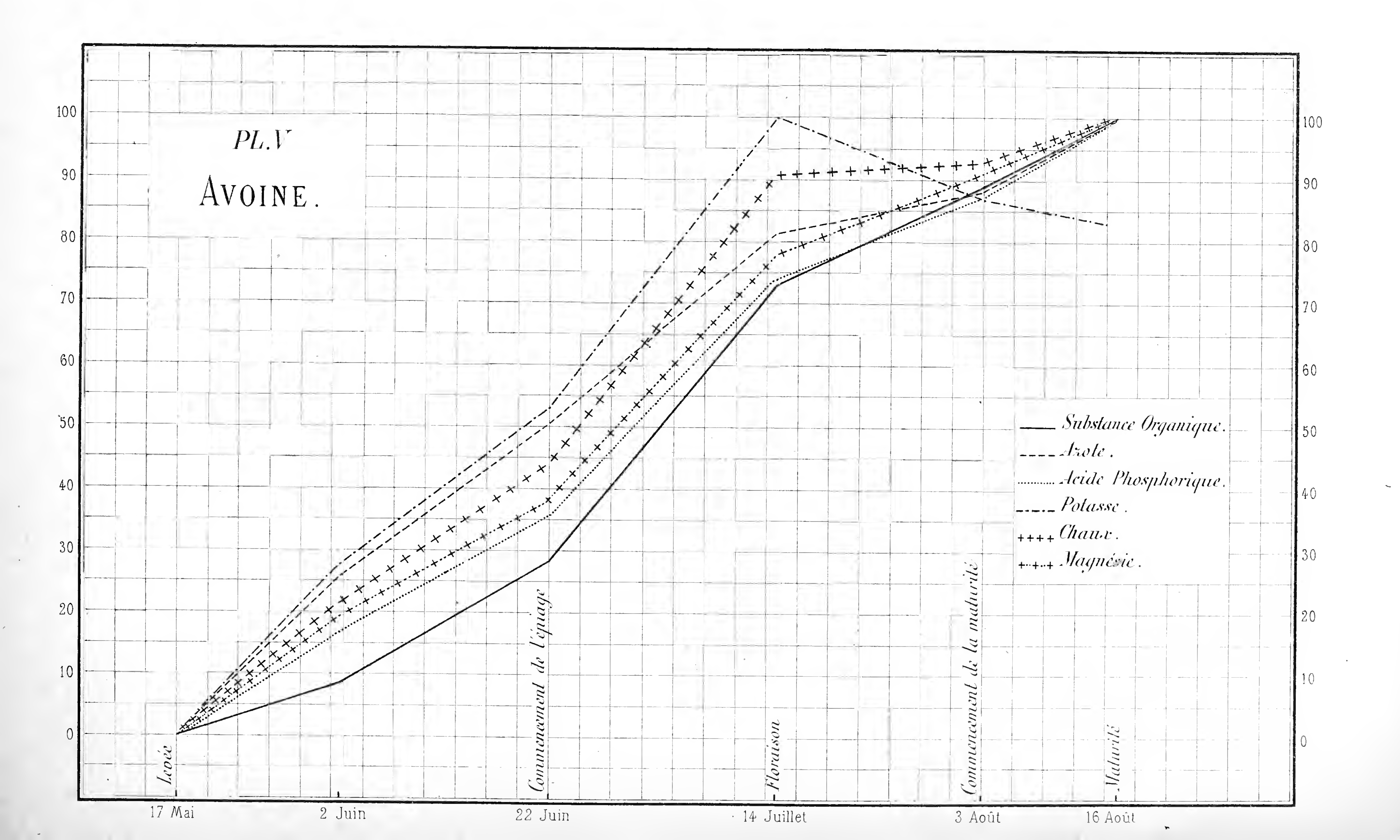
Cladochytrium tuberculorum, *sp. nov.*

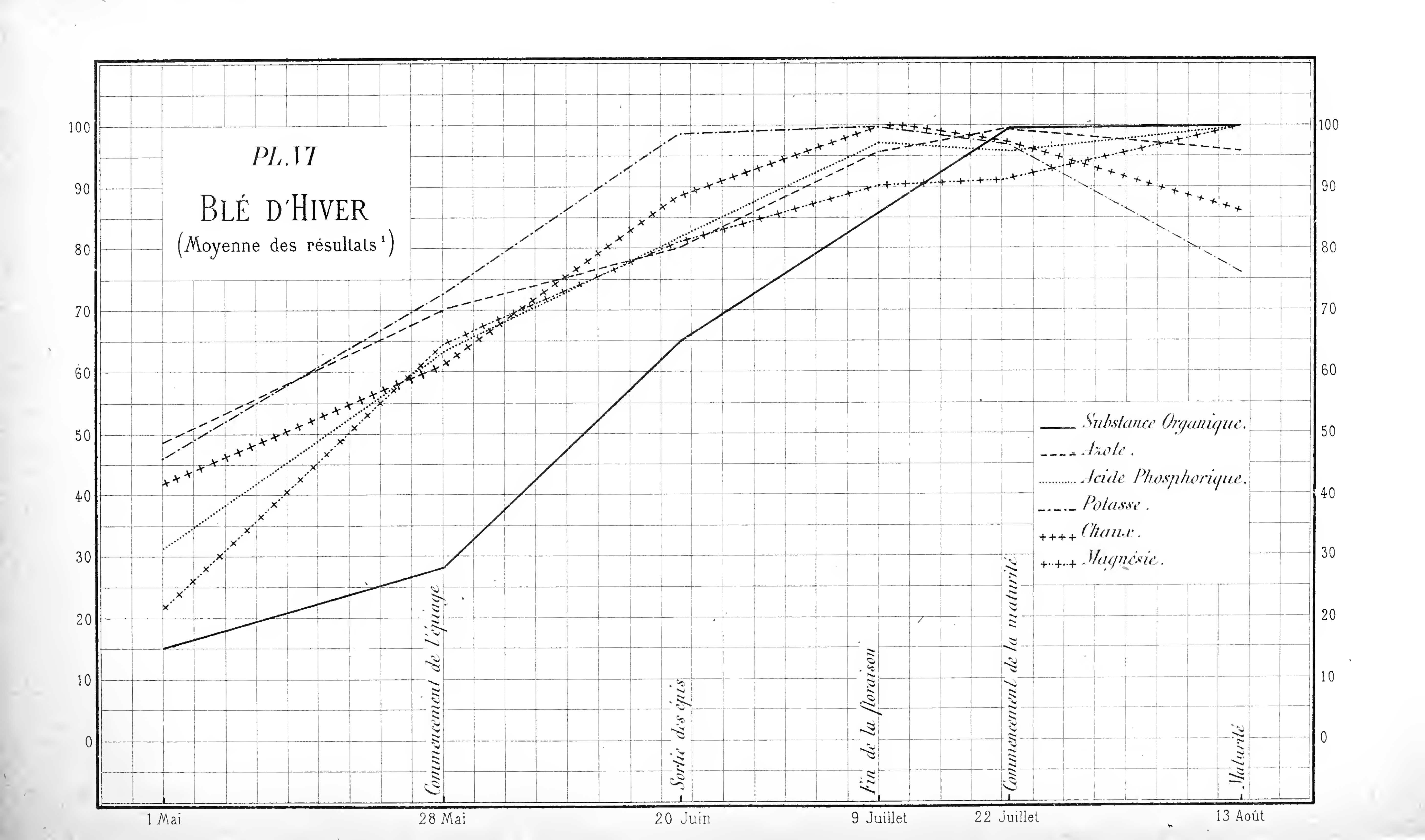
31. — Filament portant un sporange [650].
32-34. — Stades successifs de la formation des zoospores [650].
35. — Zoospores isolées et zoospores copulées [650].
36. — Zoospore amplifiée.
37. — Zoospore enkystée [650].
38. — Séparation de zoospores copulées.
39. — Zoospore affranchie de son conjoint, expulsant des particules solides avant de s'enkyster.
40. — Chronispore en formation à l'extrémité d'un filament [650].
41. — Chronispores mûres encore entourées de la membrane primitive du filament [650].
42-44. — Filaments munis d'anastomoses et d'excroissances sphériques ou lobées, observés sur des tranches de tubercules de *Medicago disciformis* conservées dans l'eau [650].

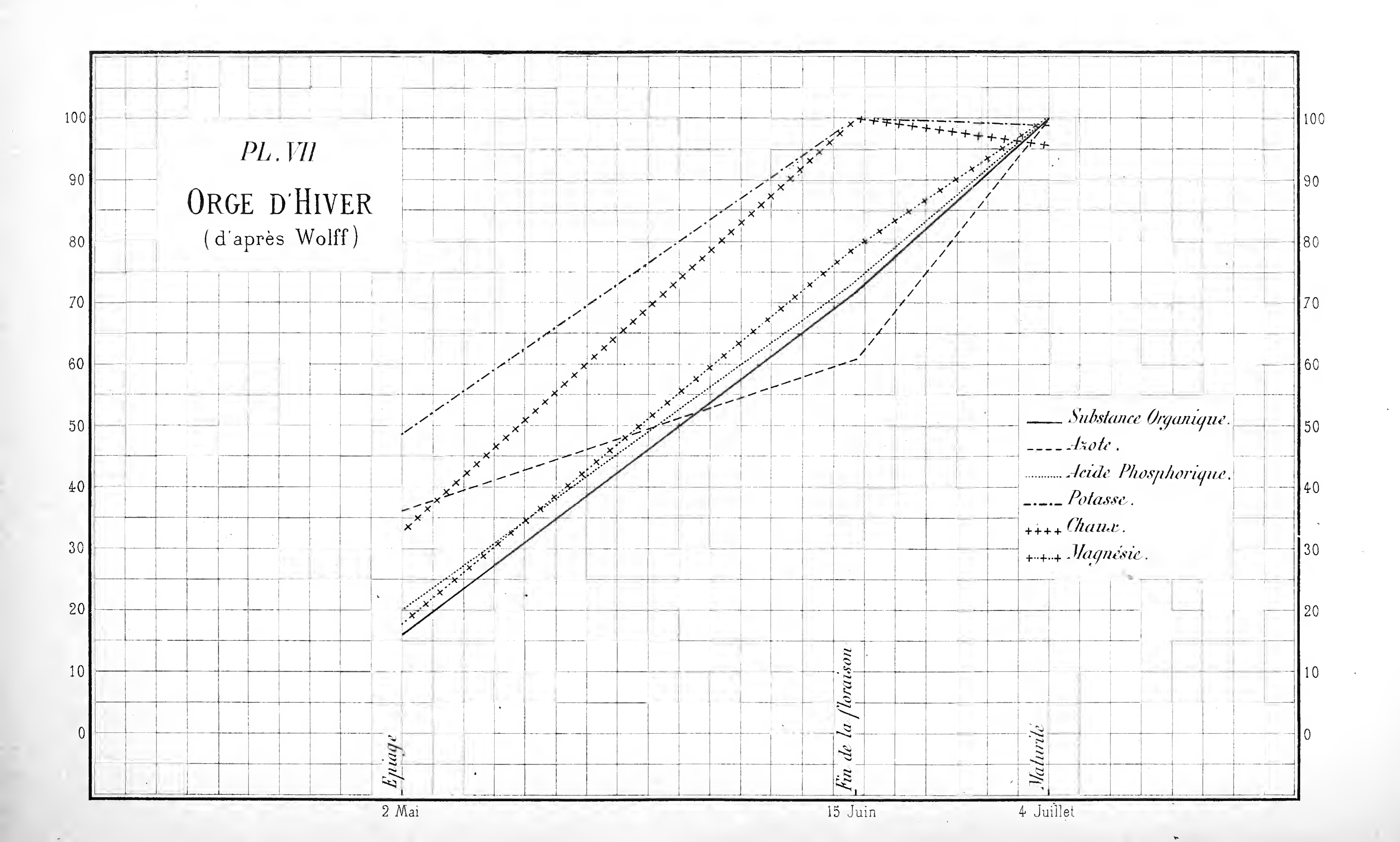


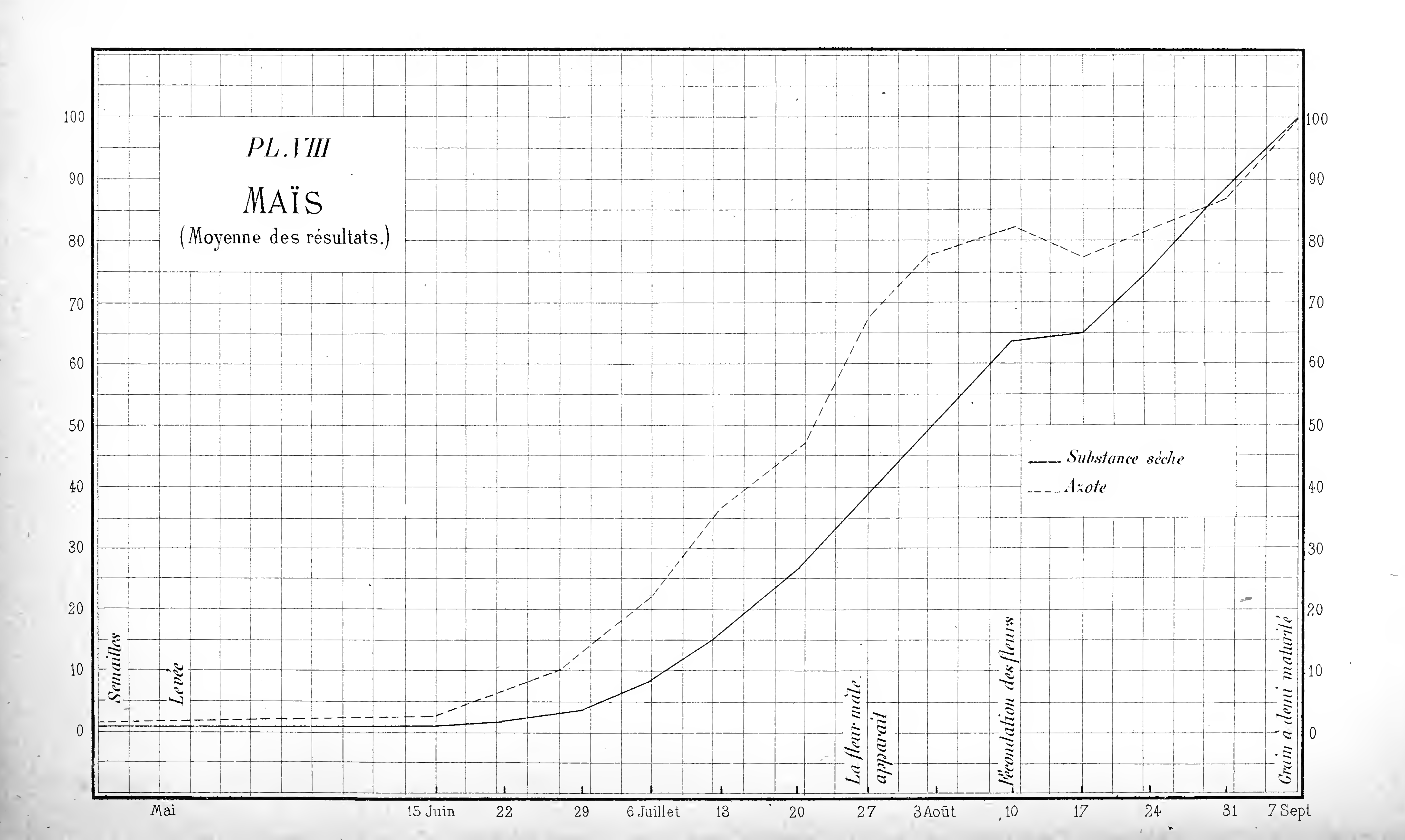
P. Vuillemin del.

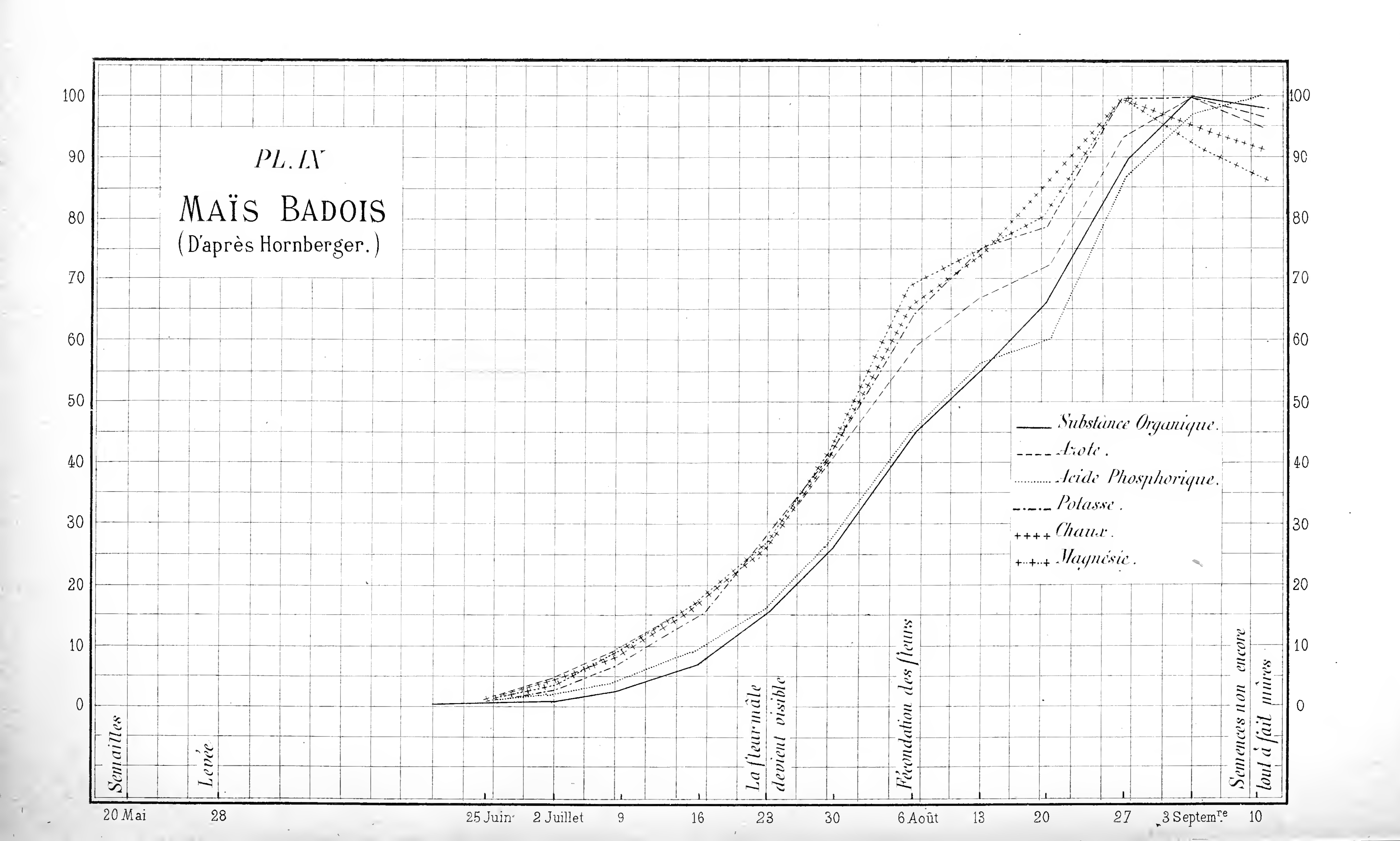

PL. IV
ORGE D'ÉTÉ
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.
Levée
Epiage
Floraison
Maturité
17 Mai
5 Juin
3 Juillet
23 Juillet
16 Août
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


PL.V
AVOINE.
Levée
Commencement de l'épiage
Floraison
Commencement de la maturité
Maturité
17 Mai
2 Juin
22 Juin
14 Juillet
3 Août
16 Août
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.

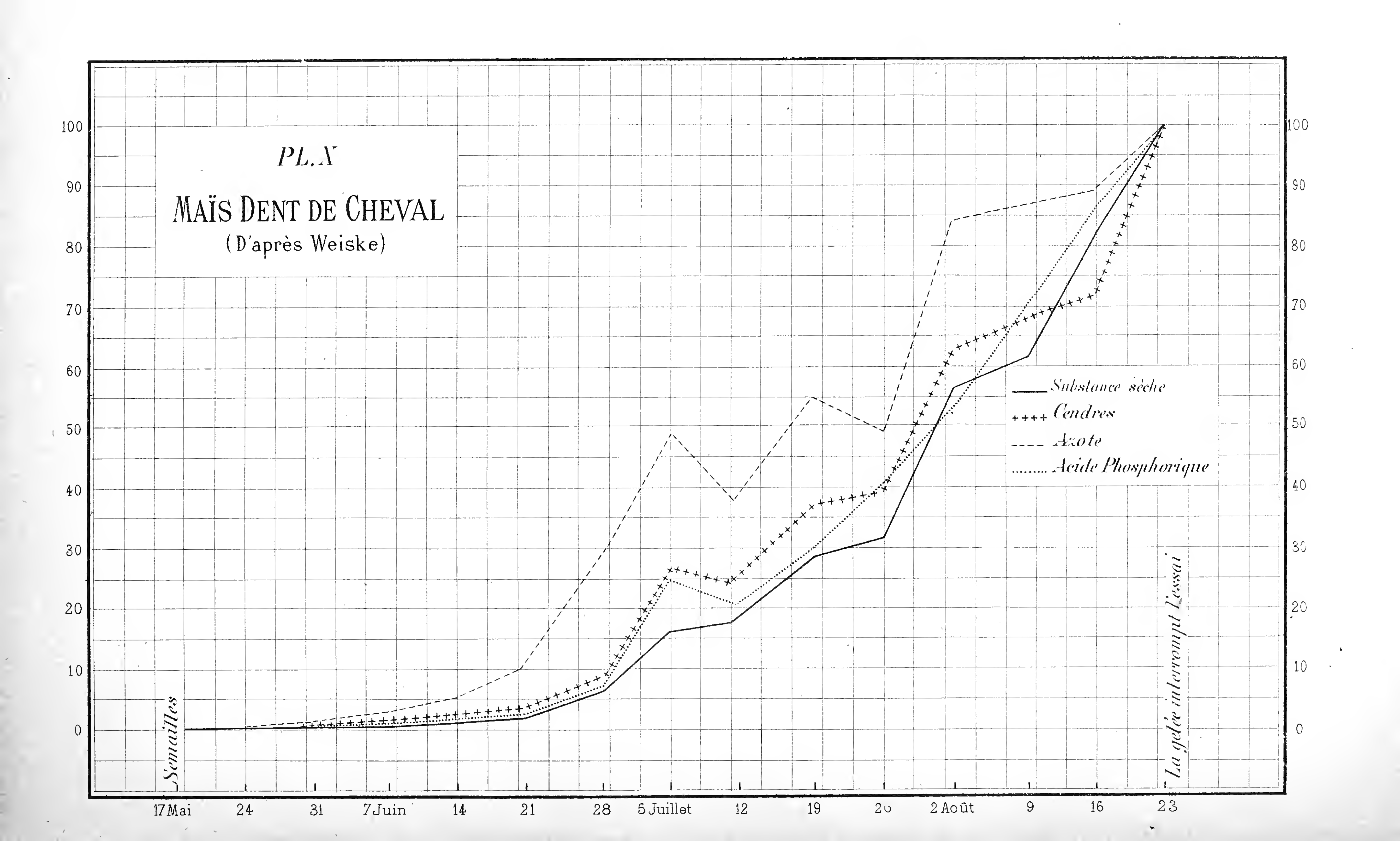

PL. VI
BLÉ D'HIVER
(Moyenne des résultats [1])
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.
Commencement de l'épiage
Sortie des épis
Fin de la floraison
Commencement de la maturité
Maturité
1 Mai
28 Mai
20 Juin
9 Juillet
22 Juillet
13 Août
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


PL. VII
ORGE D'HIVER
(d'après Wolff)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Epiage
Fin de la floraison
Maturité
2 Mai
15 Juin
4 Juillet
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.

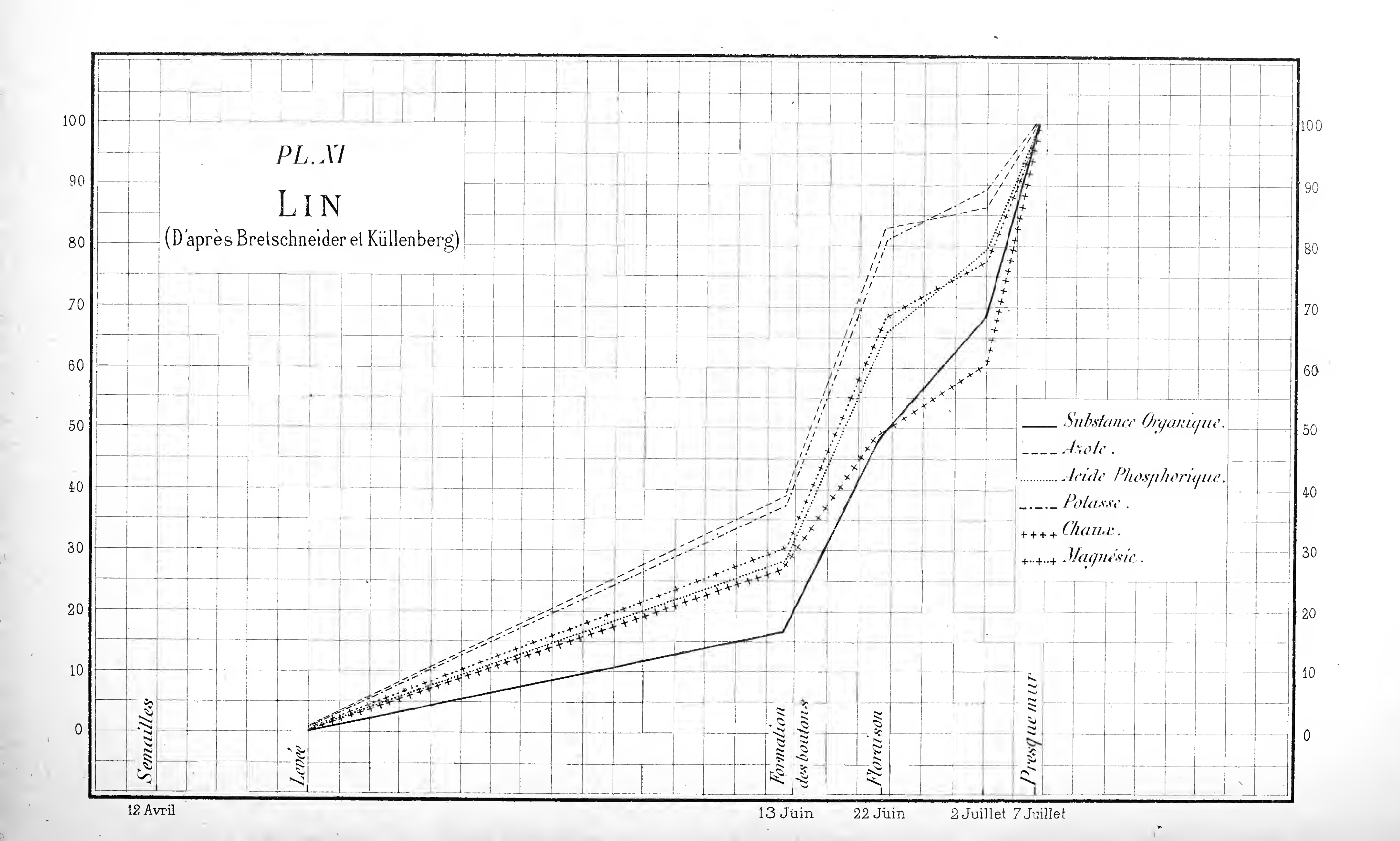

PL. VIII
MAÏS
(Moyenne des résultats.)
Substance sèche
Azote
Semailles
Levée
La fleur mâle apparait
Fécondation des fleurs
Grain à demi maturité
Mai
15 Juin
22
29
6 Juillet
13
20
27
3 Août
10
17
24
31
7 Sept
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

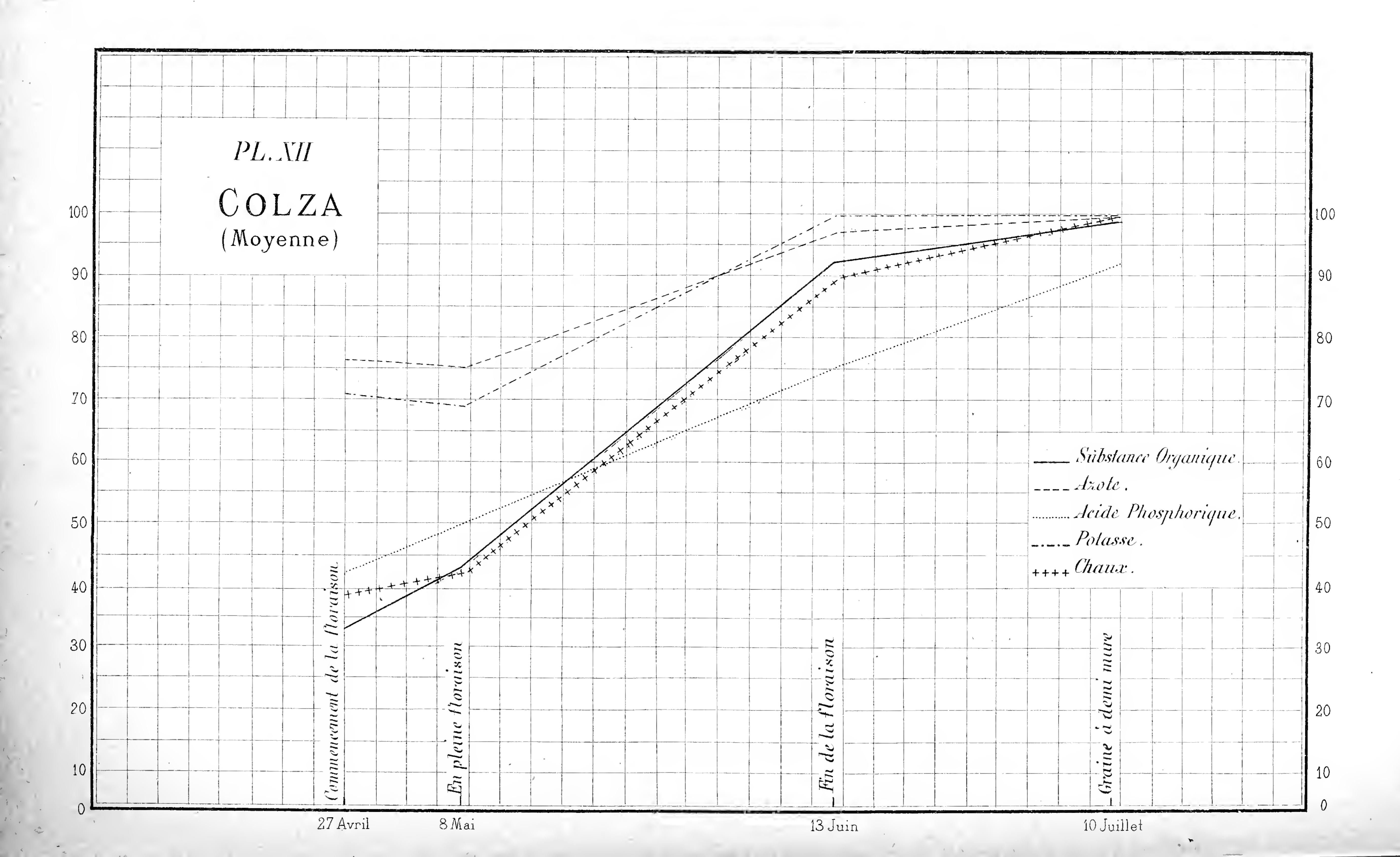


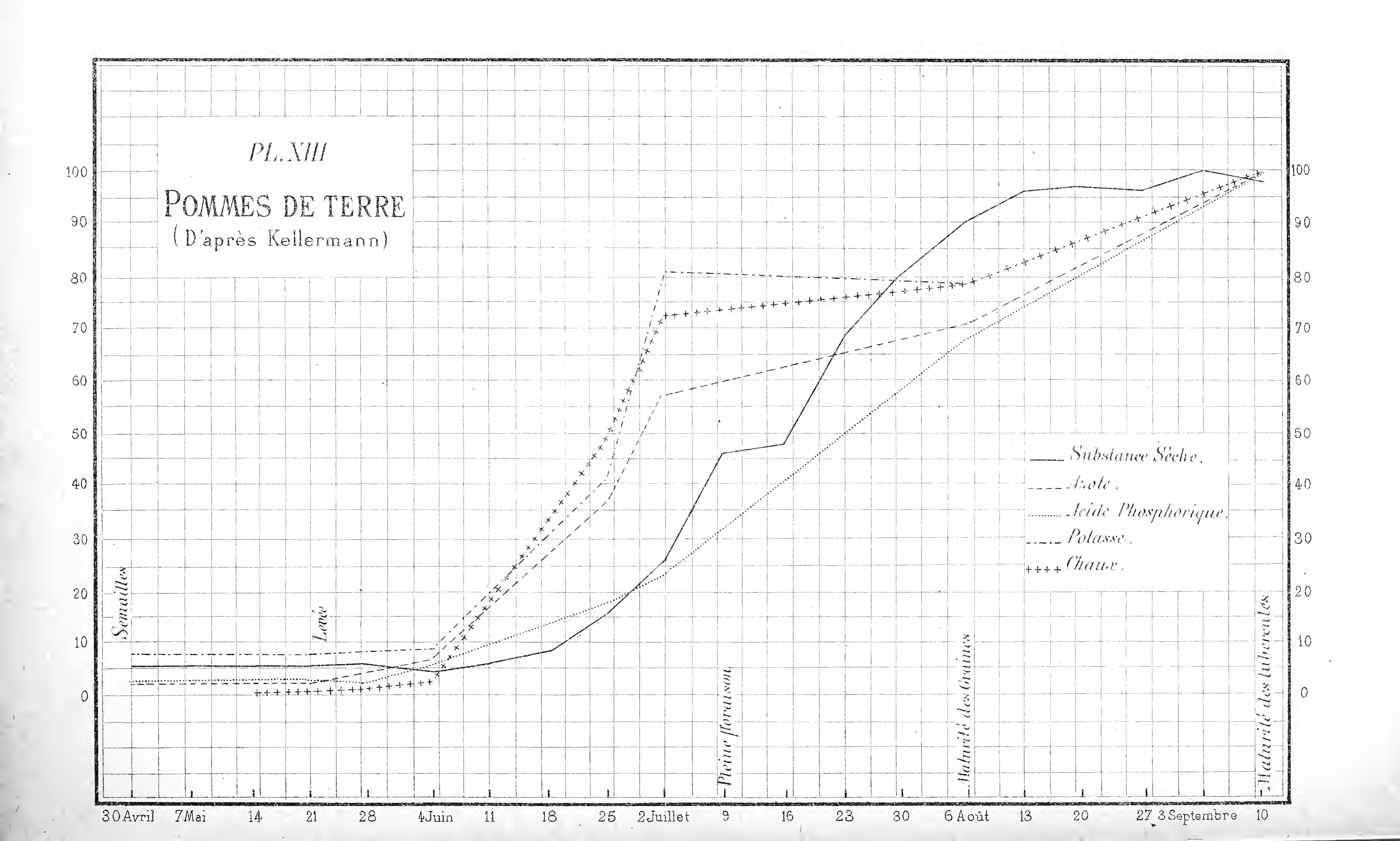
PL. IX
MAÏS BADOIS
(D'après Hornberger.)
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.
Semailles
Levée
La fleur mâle devient visible
Fécondation des fleurs
Semences non encore tout à fait mûres
20 Mai
28
25 Juin
2 Juillet
9
16
23
30
6 Août
13
20
27
3 Septem.re
10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

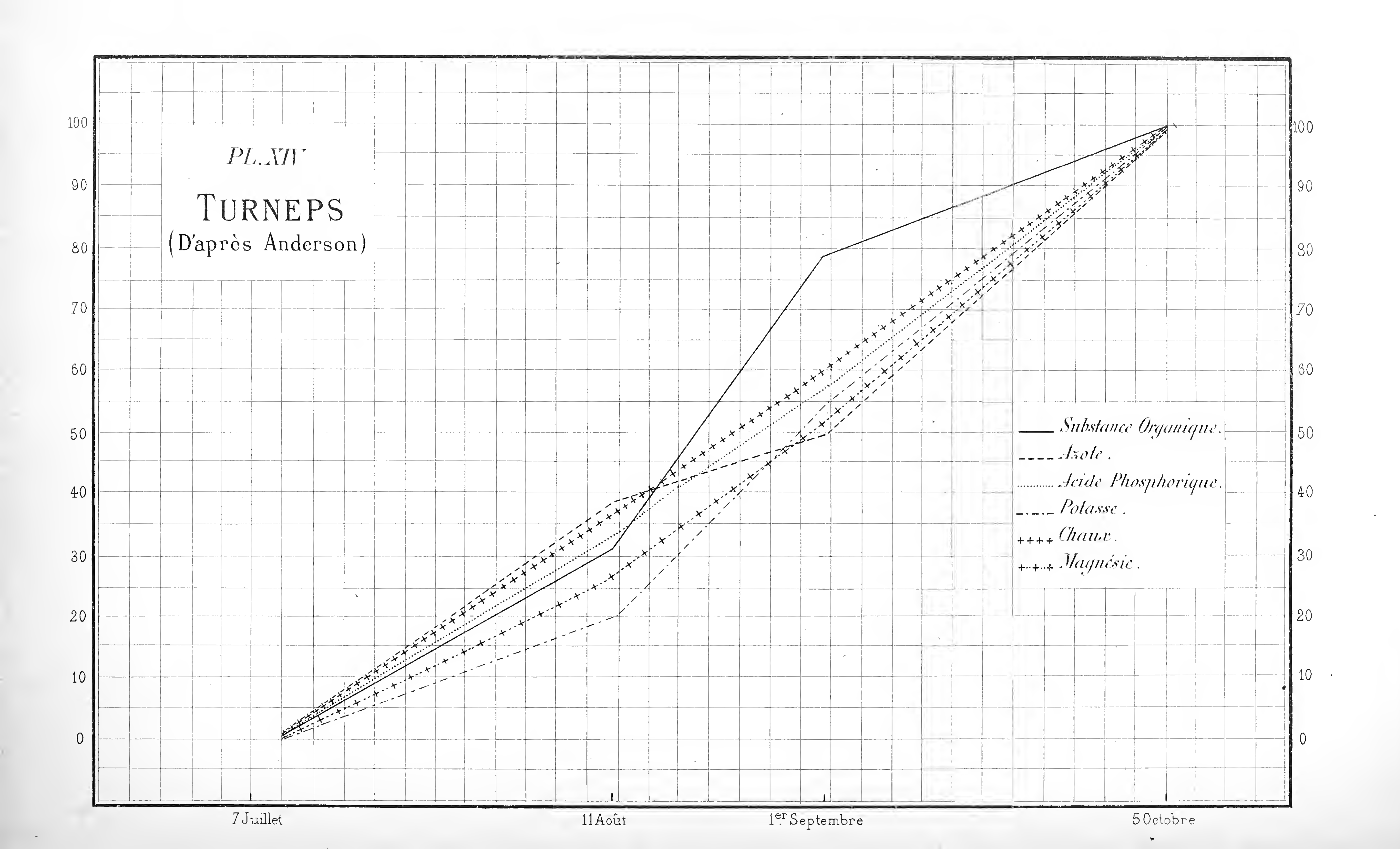


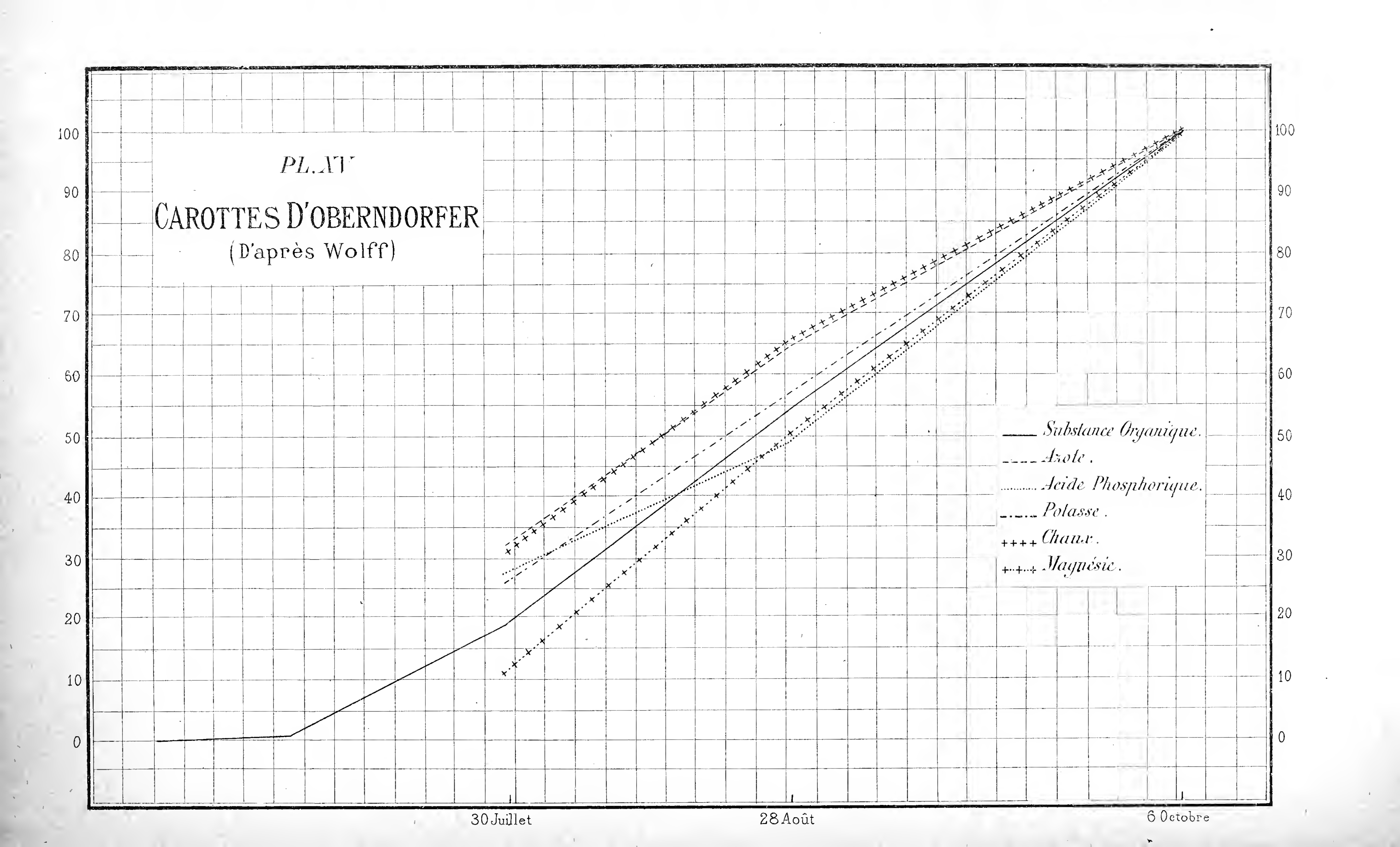
PL. X
MAÏS DENT DE CHEVAL
(D'après Weiske)
Substance sèche
Cendres
Azote
Acide Phosphorique
Semailles
La gelée interrompt l'essai
17 Mai
24
31
7 Juin
14
21
28
5 Juillet
12
19
2 Août
9
16
23
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

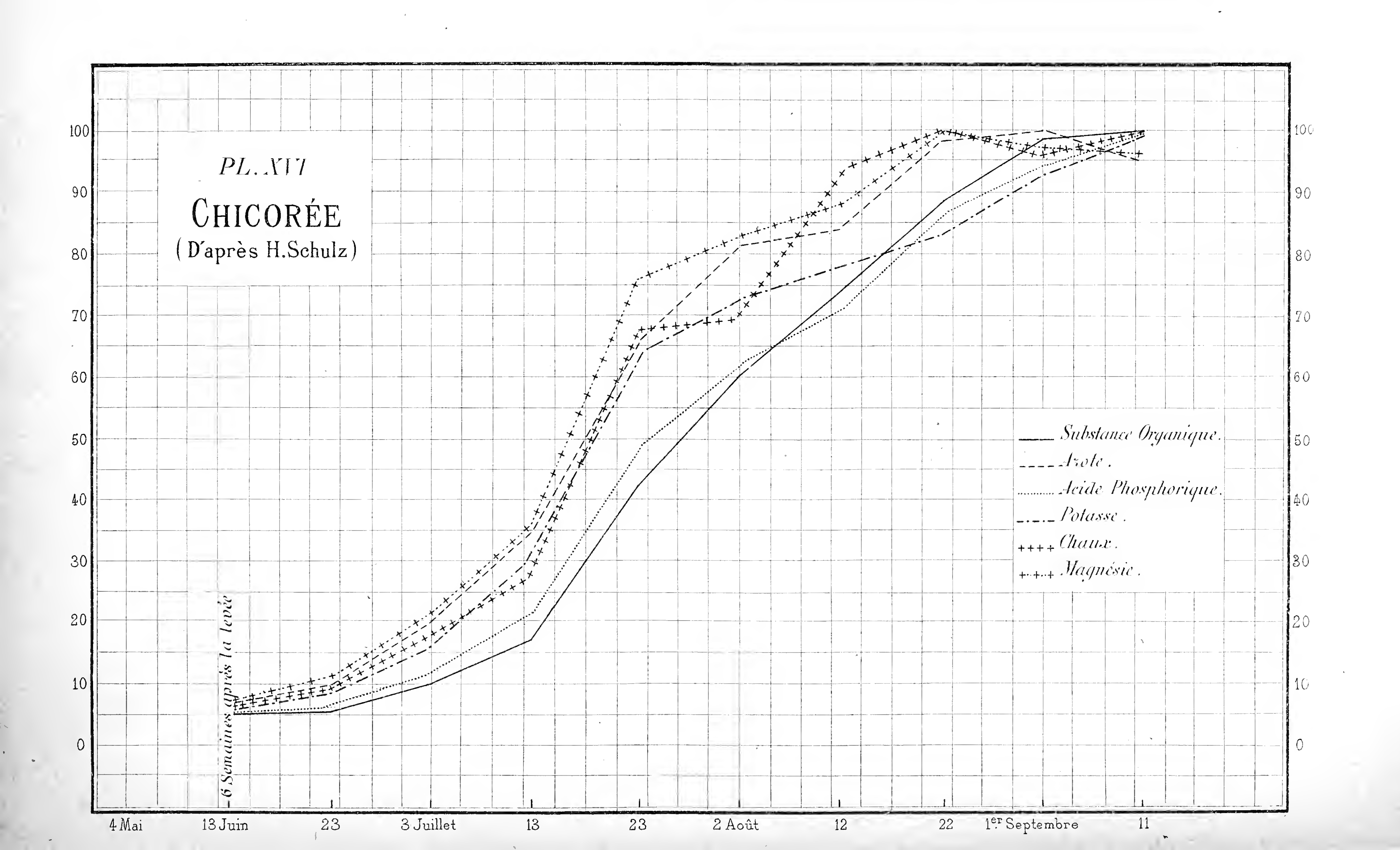

PL. XI
LIN
(D'après Bretschneider et Küllenberg)
Semailles
Levée
Formation des boutons
Floraison
Presque mur
12 Avril
13 Juin
22 Juin
2 Juillet
7 Juillet
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.

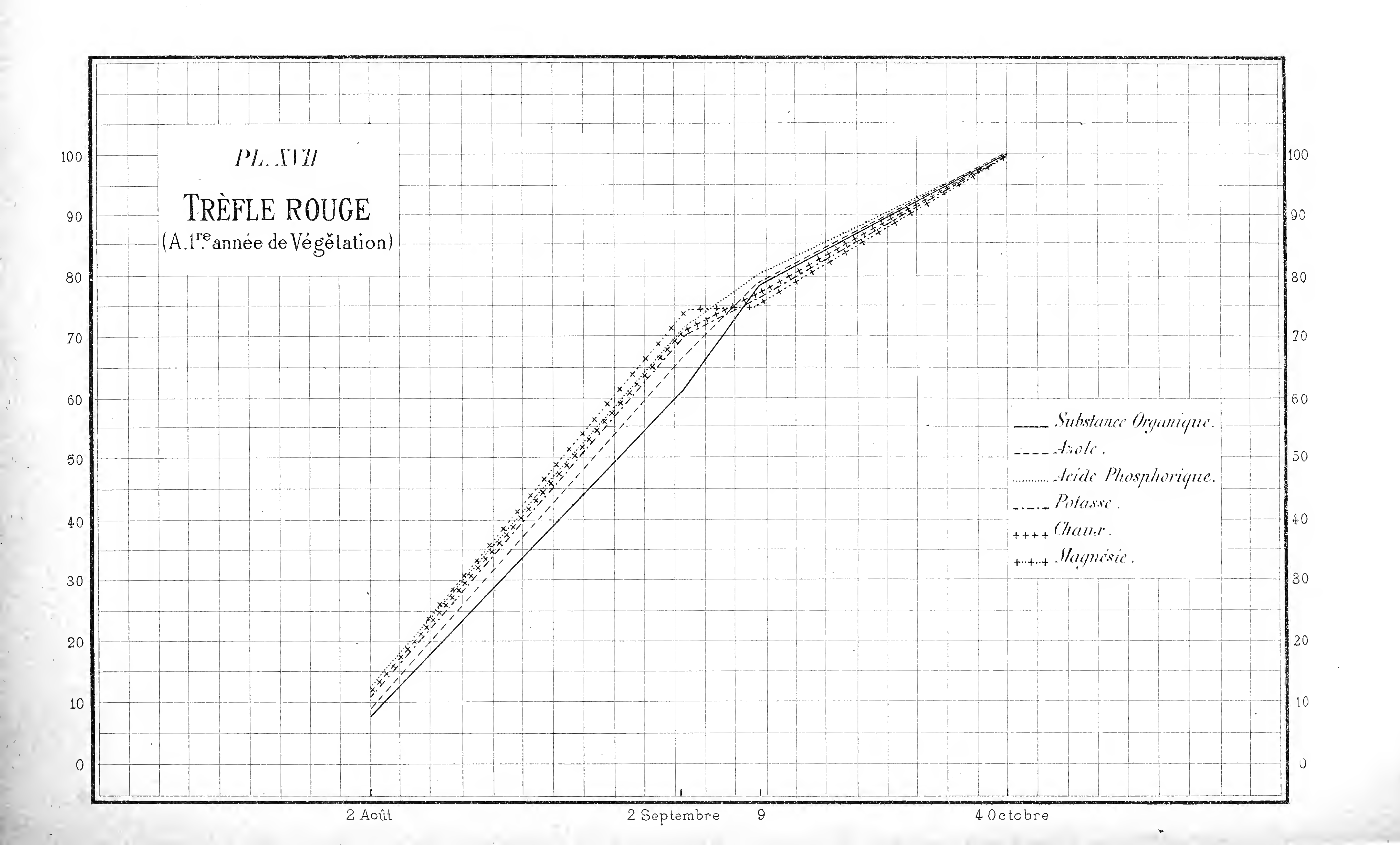

PL. XII
COLZA
(Moyenne)
Commencement de la floraison.
En pleine floraison
Fin de la floraison
Graine à demi mure
27 Avril
8 Mai
13 Juin
10 Juillet
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


PL. XIII
POMMES DE TERRE
(D'après Kellermann)
Semailles
Levée
Pleine floraison
Maturité des Graines
Maturité des tubercules
Substance Sèche.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
30 Avril
7 Mai
14
21
28
4 Juin
11
18
25
2 Juillet
9
16
23
30
6 Août
13
20
27
3 Septembre
10

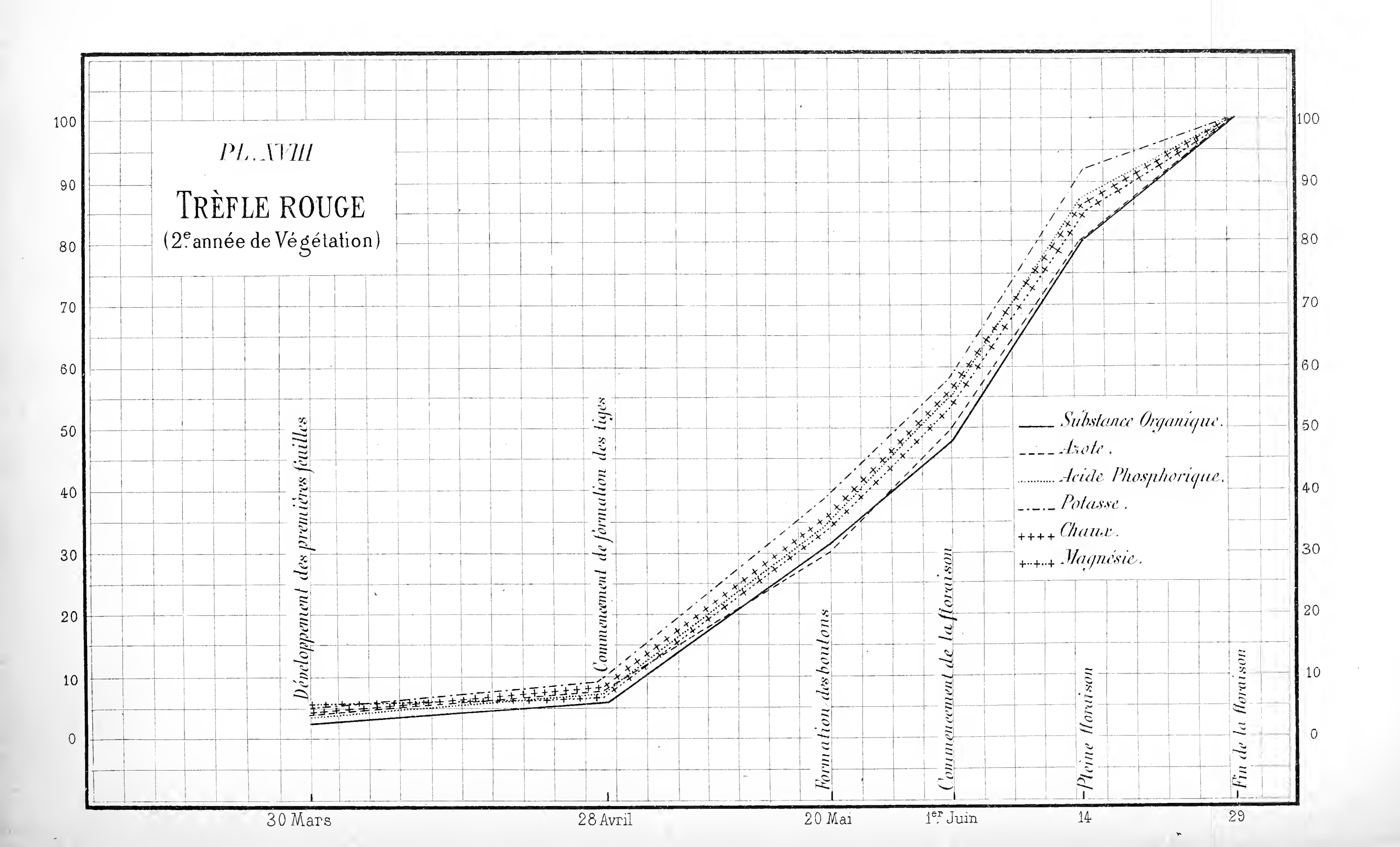

PL. XIV
TURNEPS
(D'après Anderson)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
7 Juillet
11 Août
1er Septembre
5 Octobre
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.

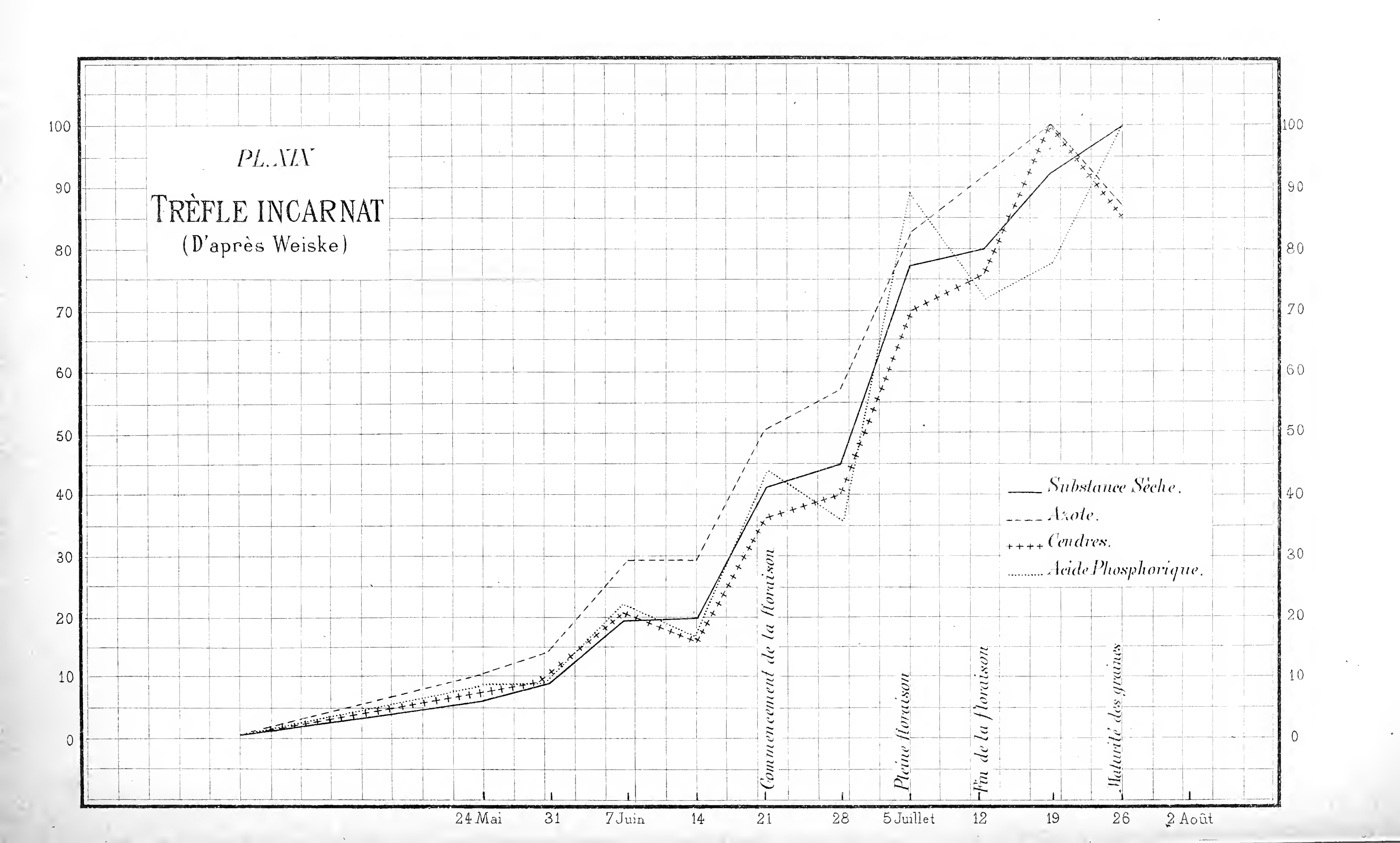

PL. XV
CAROTTES D'OBERNDORFER
(D'après Wolff)
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.
30 Juillet
28 Août
6 Octobre
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


PL. XVI
CHICORÉE
(D'après H.Schulz)
6 Semaines après la levée
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.
4 Mai
13 Juin
23
3 Juillet
13
23
2 Août
12
22
1er Septembre
11
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

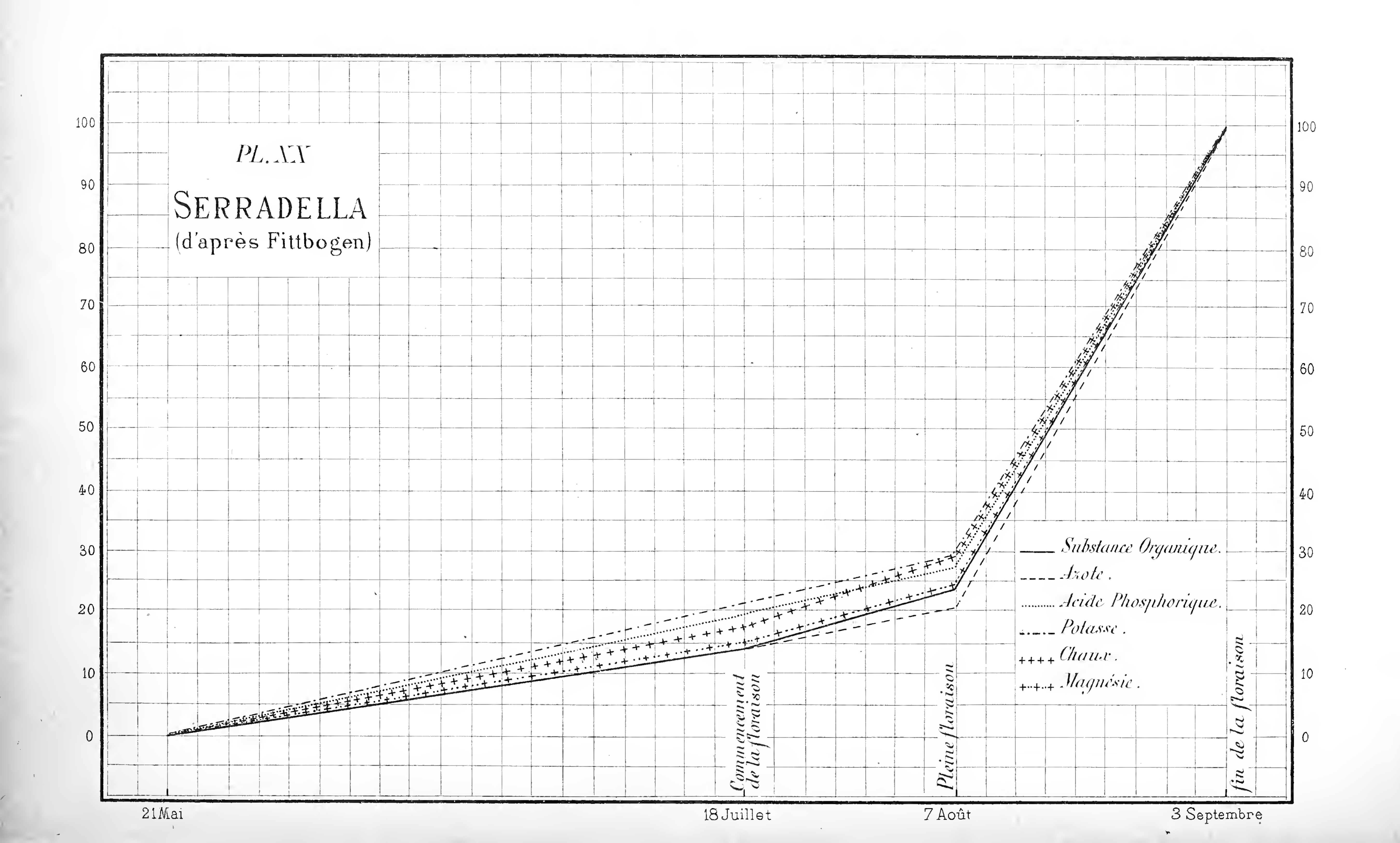


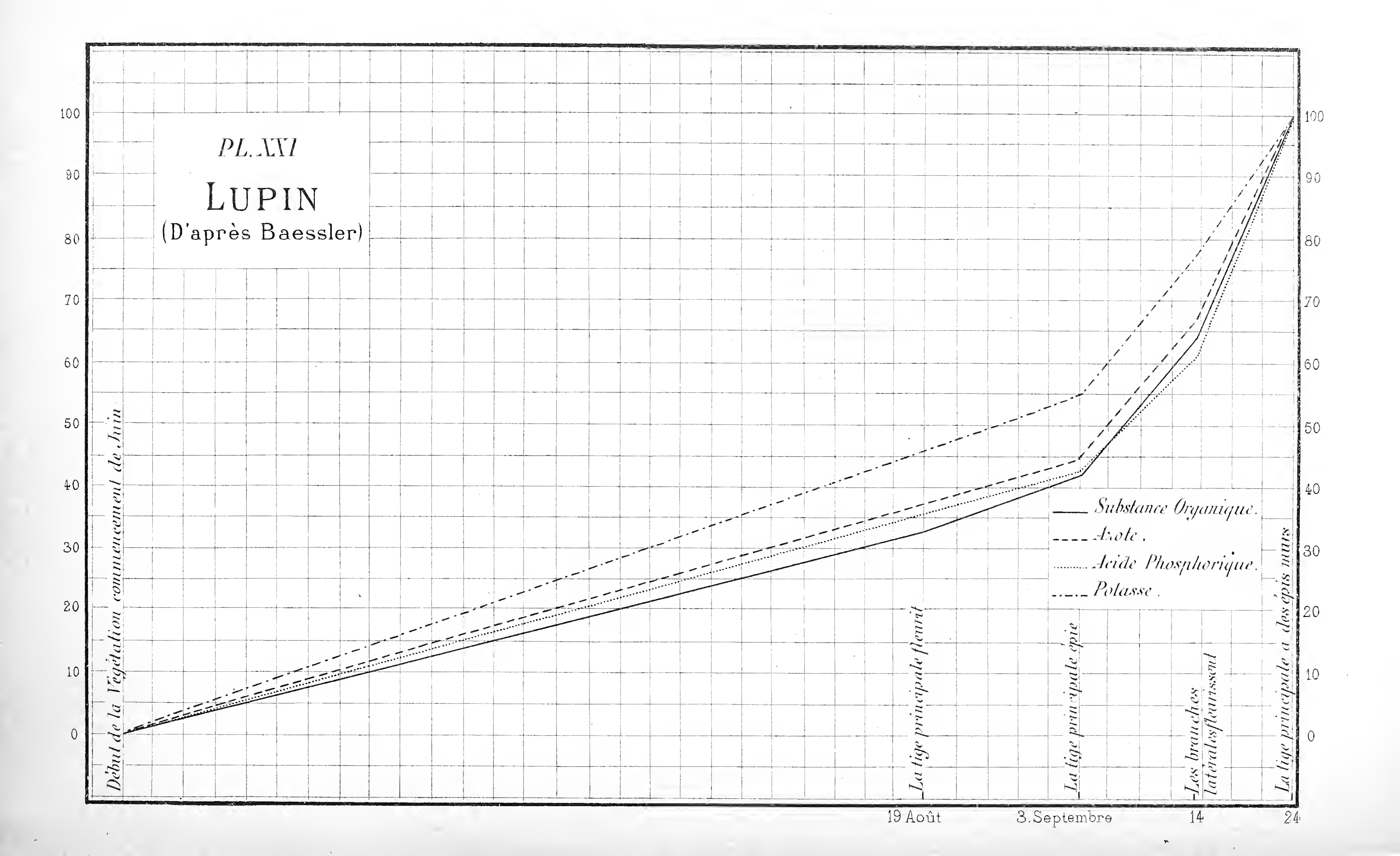
PL. XVII
TRÈFLE ROUGE
(A. 1re année de Végétation)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2 Août
2 Septembre
9
4 Octobre
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.

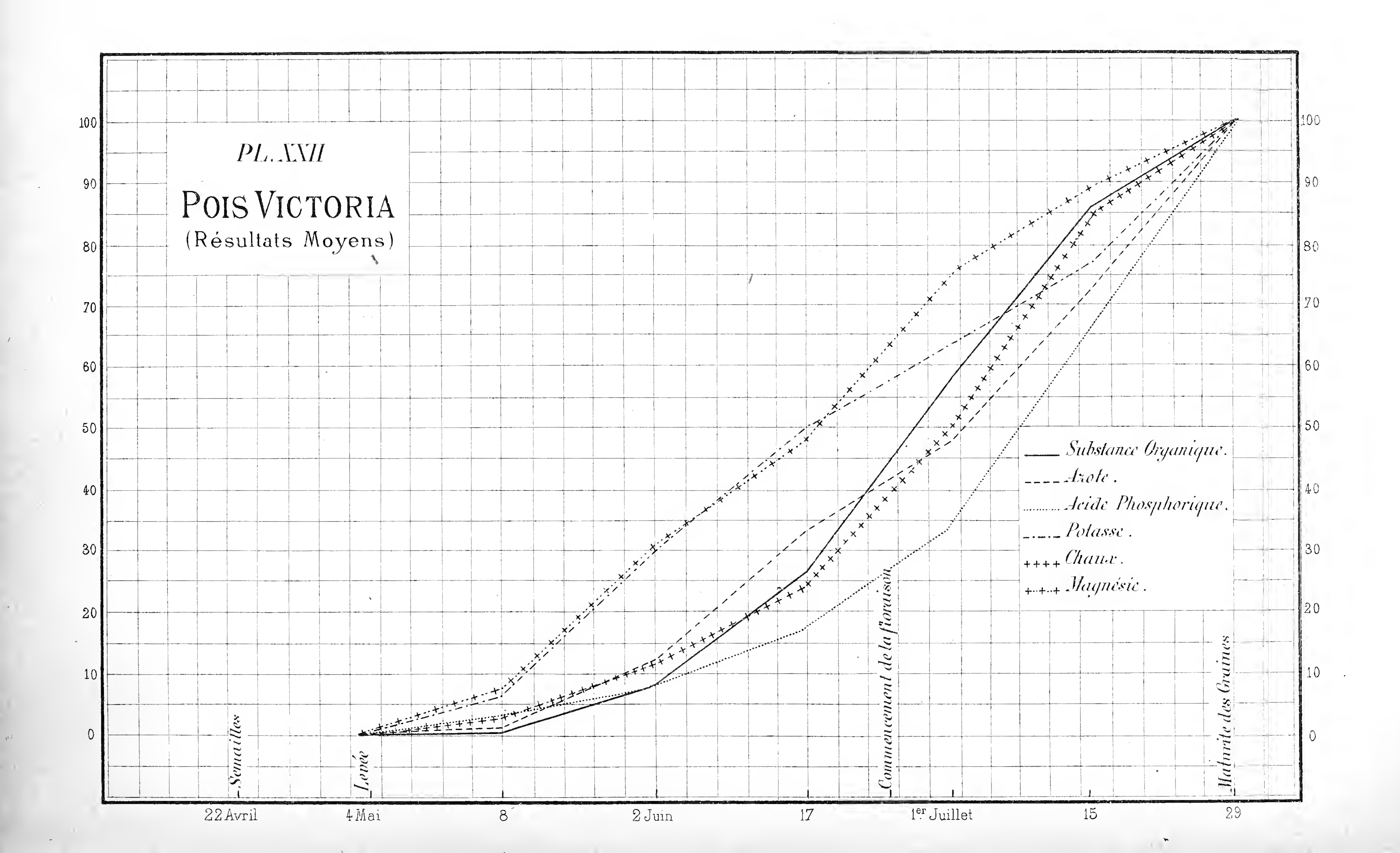

PL. XVIII
TRÈFLE ROUGE
(2e année de Végétation)
Développement des premières feuilles
Commencement de formation des tiges
Formation des boutons
Commencement de la floraison
Pleine floraison
Fin de la floraison
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.
30 Mars
28 Avril
20 Mai
1er Juin
14
29
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100



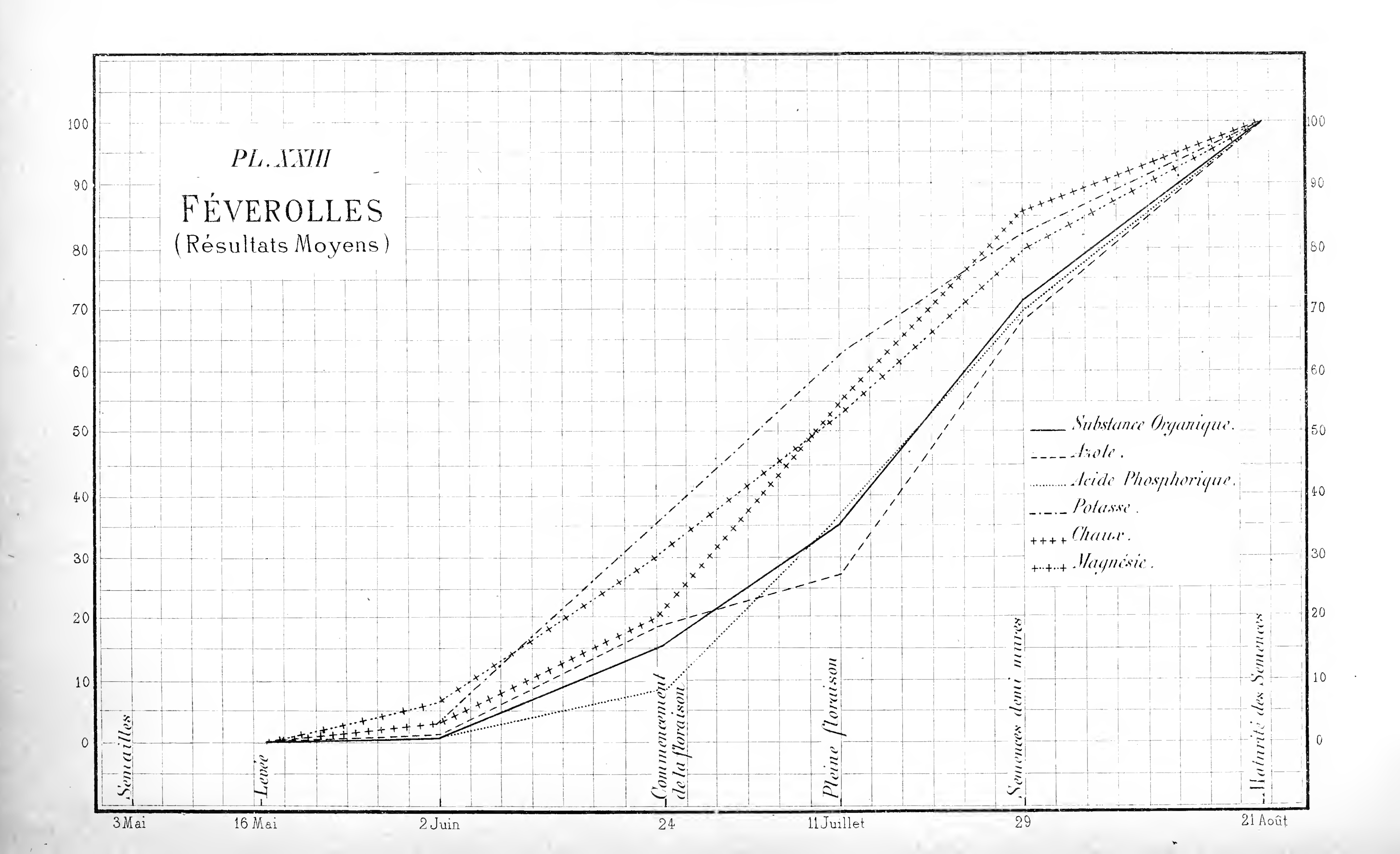
PL. XIX
TRÈFLE INCARNAT
(D'après Weiske)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
24 Mai
31
7 Juin
14
21
28
5 Juillet
12
19
26
2 Août
Commencement de la floraison
Pleine floraison
Fin de la floraison
Maturité des graines
Substance Sèche.
Azote.
Cendres.
Acide Phosphorique.


PL. XX
SERRADELLA
(d'après Fittbogen)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Commencement de la floraison
Pleine floraison
fin de la floraison
21 Mai
18 Juillet
7 Août
3 Septembre
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.

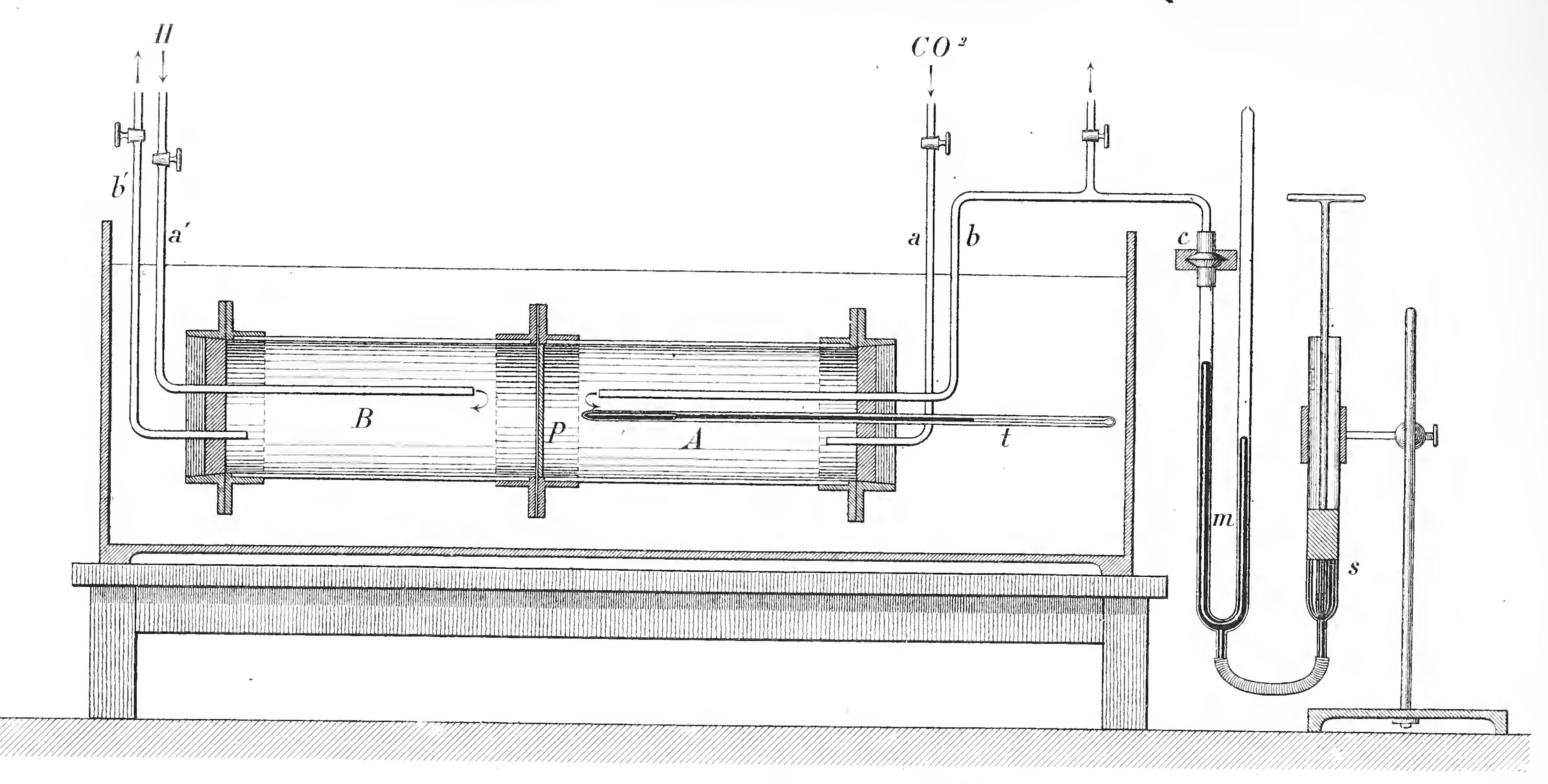

PL. XXI
LUPIN
(D'après Baessler)
Début de la Végétation commencement de Juin
La tige principale fleurit
La tige principale épie
Les branches latérales fleurissent
La tige principale a des épis murs
19 Août
3. Septembre
14
24
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100



PL. XXII
POIS VICTORIA
(Résultats Moyens)
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.
Semailles
Levée
Commencement de la floraison
Maturité des Graines
22 Avril
4 Mai
8
2 Juin
17
1er Juillet
15
29
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


PL. XXIII
FÉVEROLLES
(Résultats Moyens)
Substance Organique.
Azote.
Acide Phosphorique.
Potasse.
Chaux.
Magnésie.
Semailles
Levée
Commencement de la floraison
Pleine floraison
Semences demi mûres
Maturité des Semences
3 Mai
16 Mai
2 Juin
24
11 Juillet
29
21 Août
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

Pl. XXIV



APPAREIL DESTINÉ A MESURER LA PERMÉABILITÉ DES MEMBRANES POUR LES GAZ.

A, manchon fermé par une plaque de laiton perforée *p* ; l'autre extrémité est fermée par une garniture métallique munie d'un tube *a* destiné à introduire les gaz, d'un tube *b* pour la sortie des gaz et d'un thermomètre *t* ; le tube *b* reçoit, au moyen d'un collier à gorge *c*, un manomètre à air libre *m*, dans la branche fermée duquel le mercure est maintenu à un niveau constant au moyen de la seringue *s*.

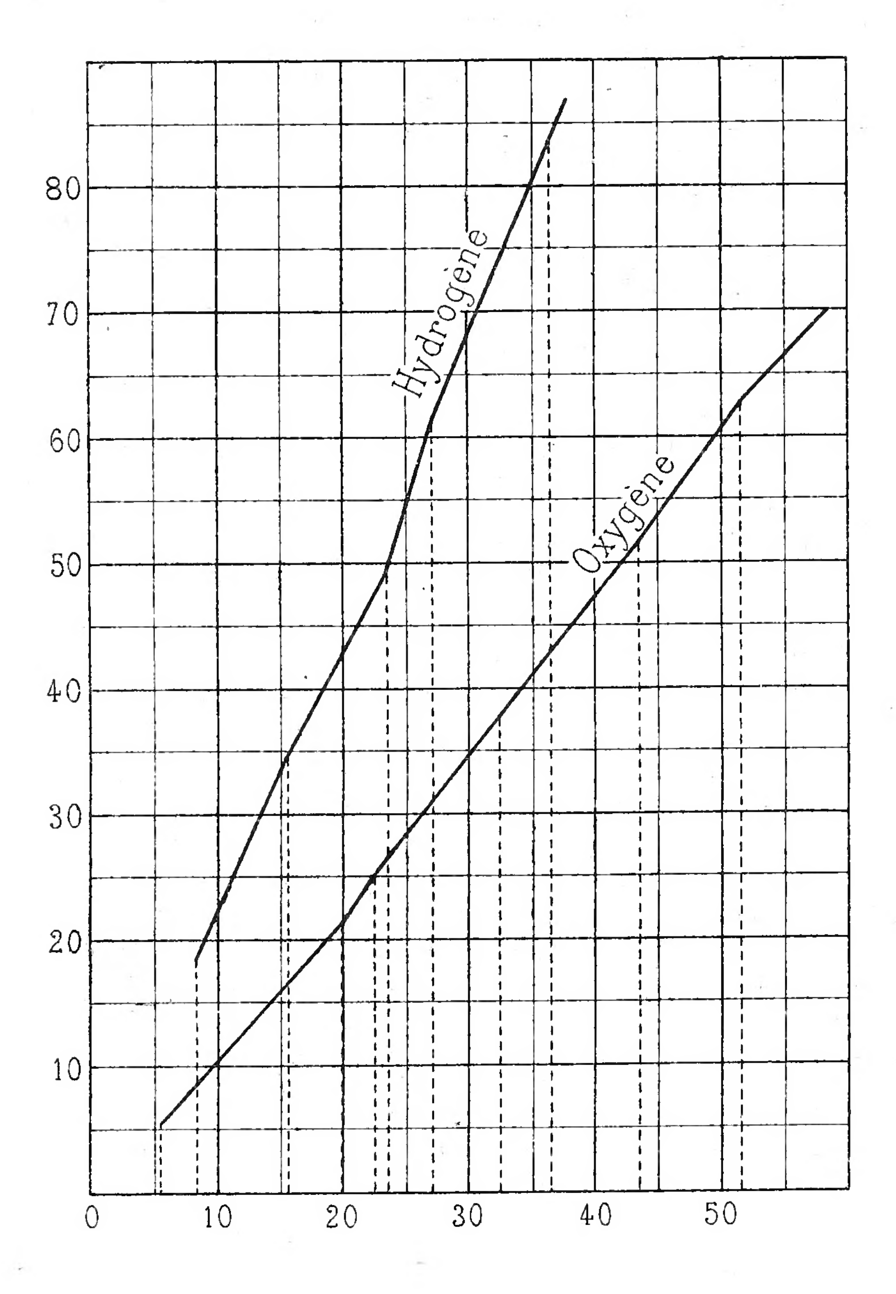
B, manchon fixé au bout du manchon A ; c'est entre les deux manchons que l'on place la membrane à étudier. *a' b'* tube d'introduction et de sortie des gaz.

Pl. XXV

APPAREIL DESTINÉ A COMPARER LA VITESSE DE DIFFUSION DES DIFFÉRENTS GAZ.

A, manchon introduit dans le manchon B au moyen d'une garniture métallique; *m*, membrane appliquée contre la plaque de plâtre *p*; *a*, *b*, *a′*, *b′*, tubes d'introduction et de sortie des gaz, *cd*, tube calibré; M, manomètre, R, gazomètre; P poids déterminant l'écoulement des gaz sous une pression variable.

Pl. XXVI



Courbes indiquant la proportionnalité de la vitesse de diffusion d'un gaz aux différences de pression exercées par ce gaz sur les deux faces de la membrane servant de septum.

Les abcisses expriment la différence des pressions en millimètres de mercure, les ordonnées expriment $\frac{1000}{t}$, t étant le nombre de secondes employé par l'index pour parcourir une longueur déterminée et constante du tube calibré.